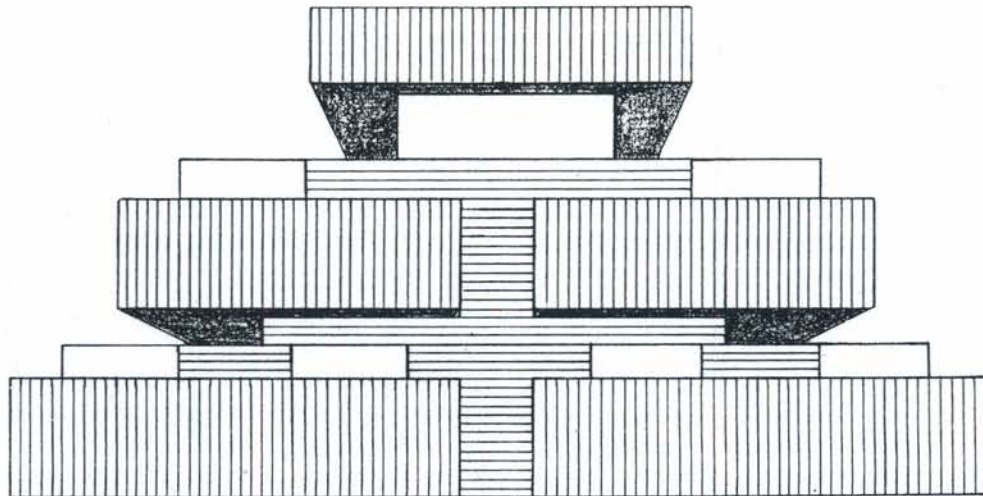


Control estadístico del proceso

Jorge Mayén González



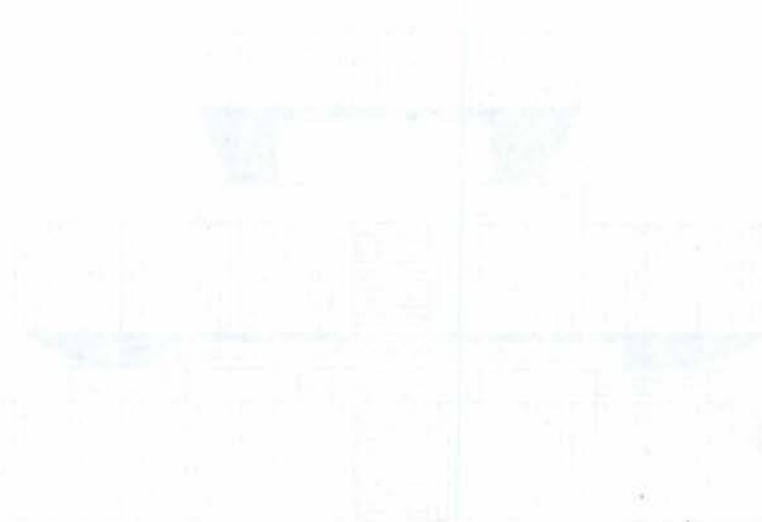
UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Control estadístico del proceso

John Mendenhall



Published by the
American Statistical Association
in cooperation with the
International Statistical Institute

Control estadístico del proceso

Jorge Mayén González

2a. reimpresión, 1997

Departamento de Sistemas

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Contenido

Introducción	9
Proceso	11
Variabilidad	13
Teoría del control estadístico del proceso	17
Control estadístico del proceso	19
Patrón natural de la variabilidad	27
Interpretación de la gráfica \bar{X} y R	29
Índices de capacidad de proceso	37
Valor objetivo	47
Dificultades para implantar el CEP	51
Costo, calidad y productividad	57
Centro de proceso más económico	61
Intercambiabilidad	65
Control total del proceso	73
Herramientas para el control total del proceso	77
Gráfica de control p	93
Análisis de la gráfica p	101
Gráfica p (lote variable)	113
Gráfica c	119
Pre-control	123
La calidad aumenta	129
Avisos	131
Instrucciones para el empleo del software	133
Apéndice de tablas	143
Bibliografía	149

El mejoramiento de la calidad debe ser bien pensado y los resultados esperados planeados a largo plazo. Requiere de un cambio de actitud, de esfuerzos correctivos constantes y de mucha vigilancia.

Prologo

La tendencia actual de la calidad total es dar mayor importancia al control y mejoramiento de los procesos de fabricación. La razón de esto es buscar la prevención de defectos, centrar el proceso en el valor objetivo y reducir la variabilidad de la fabricación. Los principales objetivos de los apuntes son mostrar como se aplica el control estadístico del proceso, la determinación de los diferentes índices de capacidad de proceso y la utilización de herramientas auxiliares para realizar acciones correctivas.

Uno de los propósitos de los apuntes es que con el auxilio de la computadora, se elimine el tedio de los calculos y se pueda ejercitar la aplicación del control estadístico del proceso.

JMG

Introducción

El objetivo principal del Control Estadístico del Proceso, es que la gente que opera el proceso lo conozca a fondo y por medio de ese conocimiento el proceso mejore continuamente.

Conociendo los límites naturales del proceso se facilitan las tareas siguientes:

- 1- Establecimiento de especificaciones realistas de acuerdo con los recursos disponibles para fabricarlas.
- 2- Reducción de costos de inspección, retrabajo y desperdicios.
- 3- Compra de equipos nuevos que tengan capacidad para reproducir las especificaciones.
- 4- Asignar la producción a procesos que tengan capacidad para generar las especificaciones.

Proceso

Es un conjunto de elementos y condiciones que trabajan repetidamente para transformar las entradas en salidas. Los elementos pueden ser: materiales, máquinas, métodos, herramientas, mano de obra. Un proceso está formado por pasos y cada paso puede ser considerado como un proceso. Las salidas son los productos.

En la mayoría de los procesos las características de calidad son medibles. Para procesos de manufactura esas características son: diámetros, temperaturas, longitudes, dureza, resistencia, etc.

El resultado de la medición de estas características es variable, el estudio de esta variabilidad se emplea como base para controlar el proceso. Sin embargo, a veces esta acción resulta contraproducente, debido a que el concepto de causas normales y anormales de variación no se entiende.

Las causas normales son aquellas que son inherentes al proceso hora tras hora, día tras día y que afectan a cualquier elemento de entrada del proceso. Causas anormales son las que no están presentes en el proceso todo el tiempo, sólo aparecen por circunstancias especiales.

Proceso bajo control

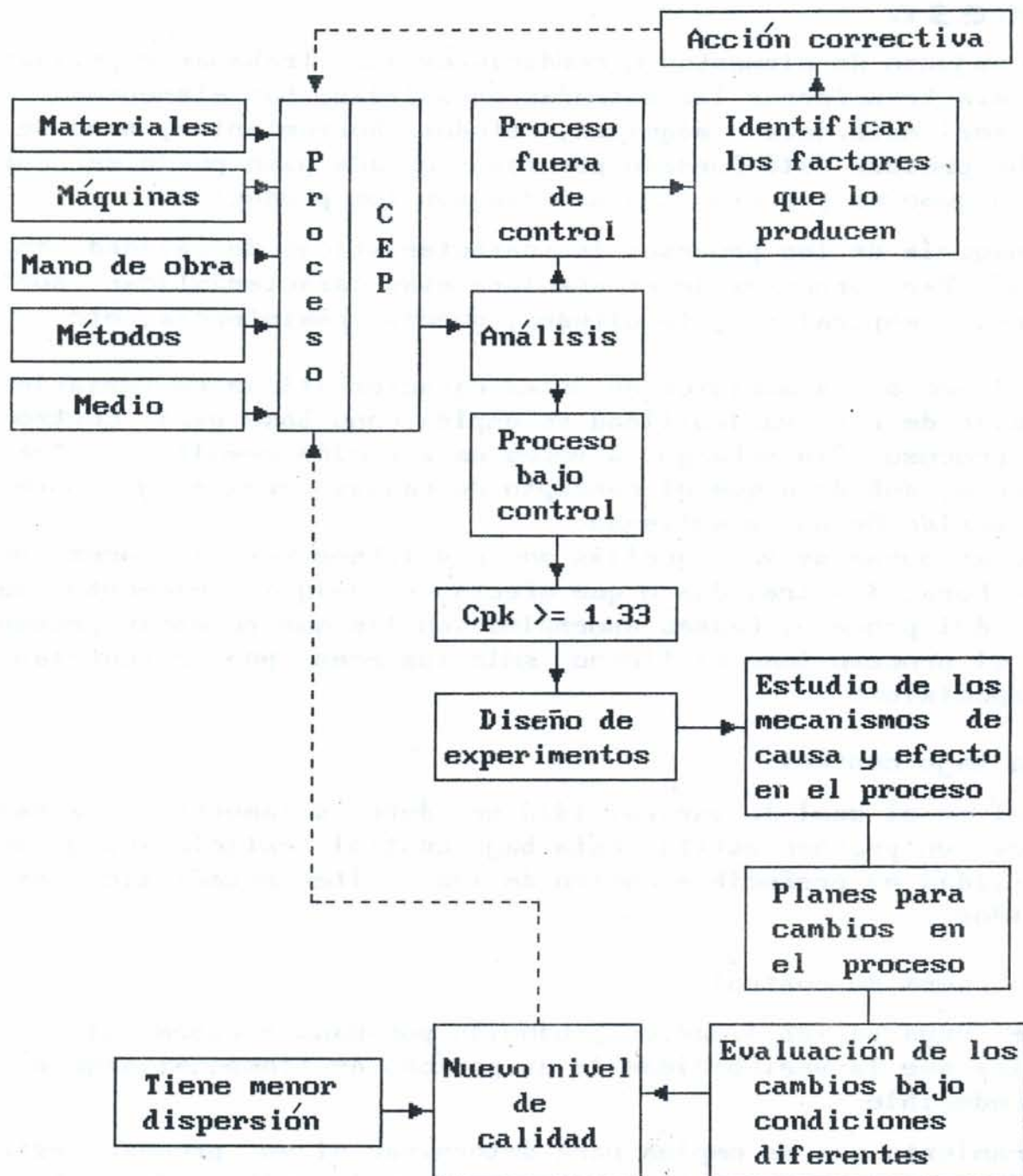
Es aquel en el cual la variabilidad se debe solamente a causas normales. Un proceso estable está bajo control estadístico y su variabilidad es predecible dentro de los límites estadísticos establecidos.

Proceso fuera de control

Es aquel cuya variabilidad es producida por causas anormales. Significa que la variabilidad de un período de tiempo al siguiente es impredecible.

La herramienta que se emplea para determinar si un proceso está dominado por causas normales o anormales es la gráfica de control

Control estadístico del proceso



Variabilidad

El objetivo principal del control estadístico del proceso durante la fabricación es prevenir el producto fuera de especificación y garantizar un cierto nivel de calidad.

Los métodos que se usan para el control del proceso durante la fabricación, se fundamentan en las leyes de la probabilidad y consisten en obtener muestras a intervalos definidos de tiempo. Para seguir los cambios de la variabilidad.

En las fabricaciones industriales siempre existe variabilidad. Aún en los sistemas más modernos de producción altamente automatizados y estrictamente controlados no es posible fabricar piezas exactamente iguales.

En la medida en que el hombre sea capaz de medir sus diferencias siempre existirá variación de una pieza a otra. esto es lo que se conoce como variabilidad. Puesto que la variabilidad es inevitable cierta cantidad de variabilidad debe ser tolerada. las causas de la variabilidad son:

- 1-Las máquinas con las cuales se realizan todas las operaciones de fabricación tienen en su construcción inexactitudes, puesto que están formadas por grupos de piezas, las cuales tienen cierta variabilidad dimensional y geométrica. Las inercias y el desgaste de las piezas de la máquina también producen variabilidad.
- 2-Las herramientas y los aditamentos que se emplean en las máquinas están sujetas a desgaste y a las diferencias en que se incurre en reafilado y montaje.
- 3-Los materiales están sujetos a variación en: composición, resistencia, dureza, etcétera.
- 4-El elemento humano contribuye grandemente a la variabilidad de la fabricación por: falta de capacitación, descuidos, errores de medición, etcétera.

La variabilidad se hace evidente cuando se miden las características del producto. existen dos clases de variabilidad y es muy importante distinguirlas entre ellas.

Variabilidad natural

Estando el proceso bajo control, es la resultante de pequeñas variaciones aleatorias de los factores de la variabilidad y otros factores que no resulta económico identificar, pero su variabilidad siempre está presente en los procesos de fabricación.

Variabilidad anormal

Es generada por la falta de control de los factores de la variabilidad como: máquinas, mano de obra, materiales, dispositivos, métodos de trabajo. Causa serios problemas en los procesos de fabricación. Por lo cual, es muy importante identificar las causas que la producen para eliminarlas.

Cuando un proceso está bajo control estadístico, el patrón de variabilidad natural está representado por una distribución normal, que es el resultado de la interacción aleatoria de los factores de la variabilidad. En la distribución normal la mayoría de los datos se encuentran cerca del promedio (\bar{x}), la curva baja rápidamente a ambos lados del promedio y tiende a hacerse plana en los extremos. Los límites para la capacidad natural del proceso se han establecido a tres desviaciones estándar a ambos lados de la media significando esto que el 99.74 % de las piezas fabricadas estarán dentro de estos límites naturales, cuando el proceso esté trabajando con variabilidad natural (ver fig.1).

El estudio de la variabilidad implica por lo menos tres cosas:

- 1- La especificación de la variabilidad que puede permitirse (especificaciones).
- 2- La medición de la variabilidad que realmente se produce.
- 3- La comparación de la variabilidad tolerada con la fabricada.

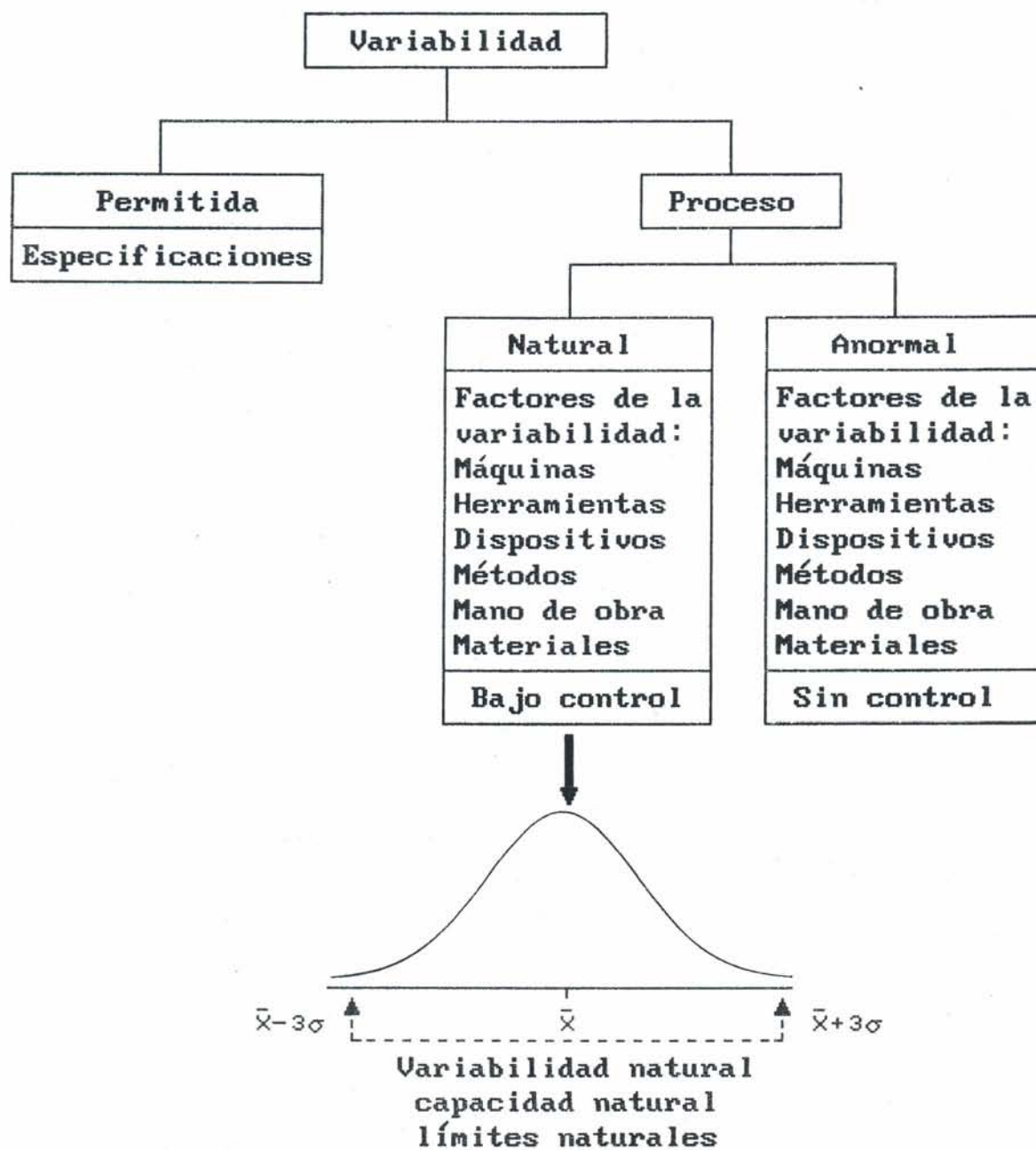


fig.1

Teoría del control estadístico del proceso

La variabilidad producida por causas al azar sigue las leyes estadísticas. Por lo que, la variabilidad producida por un sistema de causas fortuitas se puede pronosticar.

El conocimiento de la variabilidad al azar es el fundamento del control estadístico del proceso. Si al estudiar un grupo de datos se observa que su variabilidad se ajusta a un patrón estadístico que puede ser razonablemente producido por causas al azar, se supone que no hay presencia de causas anormales. Estableciéndose que los factores que producen la variabilidad están bajo control y la amplitud de la variabilidad se podrá predecir. Por otra parte, si la variabilidad de los datos no se ajusta a un patrón que pudiera ser razonablemente consecuencia de causas al azar, se llega a la conclusión de que están actuando una o más causas anormales de los factores de la variabilidad. En este caso la variabilidad está fuera de control.

Supongase que se toman gran cantidad de muestras de tamaño dado de un proceso de fabricación a intervalos definidos de tiempo y que para cada muestra se calcula su promedio. Los promedios de las muestras estarán sometidos a la variabilidad del muestreo. Si no hay causas anormales presentes los promedios de las muestras se distribuirán en forma aproximadamente normal. Siendo posible estimar la media y la desviación estándar de la distribución muestral. Se establecen como límites de la distribución de los promedios $\bar{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$ fig.2.

La escala vertical de la gráfica corresponde a unidades de promedios y la escala horizontal a unidades de tiempo. Graficando los valores de los promedios con relación al tiempo, si todos los promedios caen dentro de los límites de control y el conjunto de puntos no indica variaciones no aleatorias. Se puede establecer que el proceso está bajo control estadístico (proceso estable).

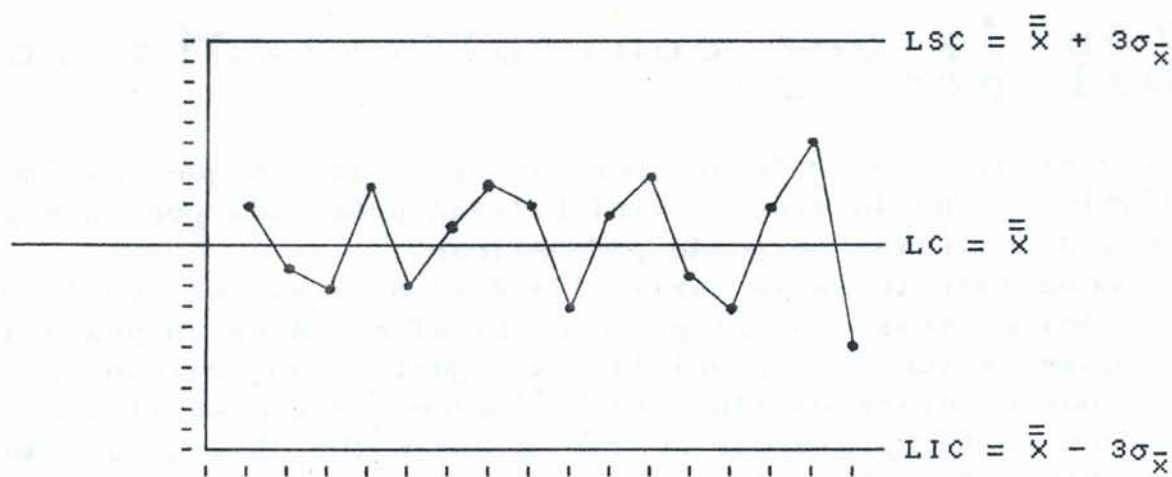


fig.2

En un proceso estable el sistema de causas normales se mantiene prácticamente constante a través del tiempo. Esto no significa que no hay variabilidad, la variabilidad es mínima. En el proceso estable la variabilidad es predecible dentro de los límites estadísticos establecidos.

Un proceso inestable es aquel que está afectado tanto por causas normales como anormales. Por lo que su variabilidad de un período de tiempo al siguiente es impredecible. Si las causas anormales son identificadas y eliminadas, el proceso se hace estable.

LSC : Límite superior de control.
LIC : Límite inferior de control.
LSE : Límite superior de la especificación.
LIE : Límite inferior de la especificación.
LNS : Límite natural superior del proceso.
LNI : Límite natural inferior del proceso.
CEP : Control estadístico del proceso.
Cp : Índice de capacidad del proceso sin considerar el centro del proceso.
Cpk : Índice de capacidad del proceso considerando el centro del proceso.
Cps : Índice de capacidad del proceso con respecto al LSE, considerando el centro del proceso.
Cpi : Índice de capacidad del proceso con respecto al LIE, considerando el centro del proceso.
Cpm : Índice de capacidad del proceso considerando la dispersión del proceso con respecto al centro de la especificación.
CE : Centro de la especificación.
CP : Centro del proceso.

Control estadístico del proceso

Definiciones y símbolos

x : Medición individual.

n : Número de elementos en la muestra, el tamaño de la muestra puede ser: 2,3,4,5, o más, pero raramente es mayor de diez. Las muestras de 4 o 5 elementos son las más empleadas en los estudios de capacidad de proceso.

\bar{X} : Promedio de los valores individuales de la muestra (n).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{n}$$

$\bar{\bar{X}}$: Promedio de los promedios de las muestras.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{\text{número de muestras}}$$

R : Diferencia entre el valor más grande y más pequeño de la muestra.

\bar{R} : Promedio de los rangos de las muestras.

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{\text{número de muestras}}$$

A_2 : Constante para calcular los límites de control de la gráfica de promedios.

D_4 : Constante para calcular el LSC de la gráfica R .

D_3 : Constante para calcular el LIC de la gráfica R .

Los valores de las constantes varían con el tamaño de la muestra y se encuentran en la tabla No.1 del apéndice.

Pasos para construir la gráfica \bar{X} y R

- 1- Definir el tamaño de la muestra y el intervalo de tiempo.
- 2- Obtener una serie de muestras de tamaño n . Se recomienda por lo menos 20 muestras.
- 3- Calcular el promedio de cada muestra, después el promedio (\bar{x}) de todas las muestras. Esta es la línea central de la gráfica (\bar{x})
- 4- Obtener el valor de la constante (A_2) de la tabla 1 y calcular los límites de control para la gráfica de promedios.

$$LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

- 5- Calcular el rango para cada muestra, después el promedio (\bar{R}) de todos los rangos. Esta es la línea central de la gráfica de (R)
- 6- Obtener de la tabla 1 los valores de las constantes D_3 , D_4 y calcular los límites de control para la gráfica de rangos.

$$LSC = D_4 \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \bar{R}$$

- 7- Seleccionar una escala entre 40 y 60 mm para trazar la amplitud de los límites de control. Trazar los promedios y rangos de cada muestra, conectando los puntos con líneas rectas. Colocar la gráfica de rangos en la parte inferior de la gráfica de promedios, para que los puntos de las gráficas queden alineados.
- 8- Los puntos que salgan fuera de los límites de control se encierran en un pequeño círculo para resaltarlos.

Control estadístico del proceso (CEP)

Cuando se deja a criterio del operador el control de la fabricación, por muy hábil o experimentado que sea ocurrirá frecuentemente, que para y ajusta la máquina demasiado tarde (y un número importante de piezas ya se habrá fabricado, lo que aumenta el costo del desperdicio y del retrabajo) o demasiado pronto (un ajuste innecesario) que aumentará el costo de la fabricación. El CEP evita los ajustes inútiles o tardíos, y resulta económico y eficaz.

El CEP descubre la estabilidad o inestabilidad del proceso, clasificando la variabilidad del proceso en: natural y anormal. Se emplea principalmente en procesos repetitivos o en producción masiva continua. El CEP estudia el proceso por medio de una secuencia de muestras aleatorias, extraídas del proceso a intervalos definidos de tiempo. La forma de la dispersión de los puntos dentro de los límites, indicará si el proceso es estable o inestable.

Los límites de control definen la región dentro de la cual la variabilidad de las muestras (puntos de la gráfica) con relación al tiempo, se debe a variaciones aleatorias únicamente, indicando que el proceso está bajo control. Si la variabilidad de las muestras no es aleatoria, éstas saldrán de los límites o presentarán agrupamientos particulares dentro de los límites. Que indicarán que el proceso está descontrolado (que hay variabilidad anormal) y es necesario corregir el proceso.

Variabilidad de las muestras

la variabilidad de las muestras está indicada por los puntos dibujados en la gráfica, la variabilidad es debida a numerosas causas que afectan al proceso, tal como: la máquina, el material, el operario, etcétera. La variabilidad es inevitable y debe ser considerada al establecer en las especificaciones la calidad requerida. Si la variabilidad de las muestras es demasiado grande, será imposible que el producto cumpla con los límites de tolerancia especificados.

Proceso bajo control o fuera de control

Esta información la proporciona el patrón de los puntos de la gráfica. En un proceso controlado, los puntos de la gráfica deberán presentar un patrón estable, es decir pocos puntos cercanos a los límites de control, mas o menos el mismo número de puntos de cada lado de la línea central y la mayoría de los puntos en la zonas C, ver fig.3. Esto indica que la variabilidad del proceso se debe únicamente a causas aleatorias y el proceso no debe tocarse. Cuando los puntos presentan agrupamientos de un solo lado de la línea central o puntos fuera de los límites de control, significa que hay evidencia de que el patrón estable de variabilidad se interrumpe. Por lo tanto, debe sospecharse que alguna causa anormal o la interacción de varias causas anormales están presentes en el proceso, las cuales deben ser detectadas y corregidas.

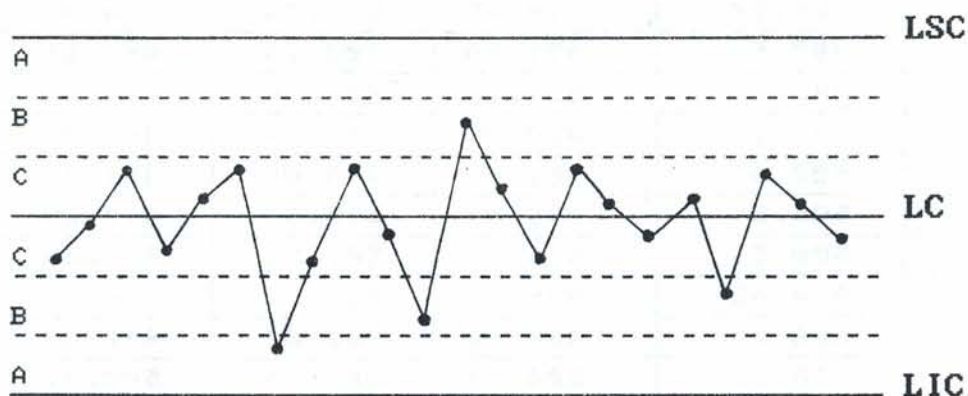


fig.3

Los puntos en la gráfica indican cuando se debe dejar solo al proceso (proceso controlado) y cuando deberán buscarse las causas de un problema (proceso fuera de control) para tomar una acción correctiva.

Causas de falta de control también pueden ser: el uso inadecuado del aparato de medición, lecturas equivocadas o errores en los cálculos. Es recomendable revisar estas causas antes de notificar que el proceso está fuera de control.

Ejemplo No 1.

Un proceso de empaque que debe cumplir con la especificación de 500 ± 20 gramos. Se va a controlar con una gráfica \bar{X} y R tomando muestras de cinco paquetes cada hora, los resultados del peso se indican en la tabla. Trazar las gráficas de control y determinar si el proceso muestra control estadístico.

Número de muestra	Valores individuales				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	495.54	504.48	510.27	501.24	497.55
2	510.31	494.64	500.89	507.67	507.05
3	499.64	495.73	492.43	498.75	500.78
4	492.79	496.34	501.44	503.62	499.12
5	497.96	501.14	501.66	503.72	493.82
6	489.90	488.45	513.64	504.43	507.74
7	493.51	499.90	502.34	492.69	504.39
8	499.54	514.06	490.78	496.60	495.60
9	494.14	494.05	499.69	495.09	499.11
10	500.53	501.17	499.06	483.50	502.24
11	506.59	496.53	515.84	497.23	497.48
12	500.53	496.65	507.51	503.36	500.11
13	494.48	495.13	493.77	496.27	505.85
14	500.11	498.23	502.07	491.29	502.48
15	498.29	500.53	507.34	500.28	487.46
16	486.68	502.52	503.53	507.29	497.55
17	497.38	510.28	503.30	498.17	494.43
18	506.54	493.02	495.58	496.21	490.35
19	517.99	496.80	499.25	495.74	499.74
20	502.87	500.08	502.75	503.79	490.82

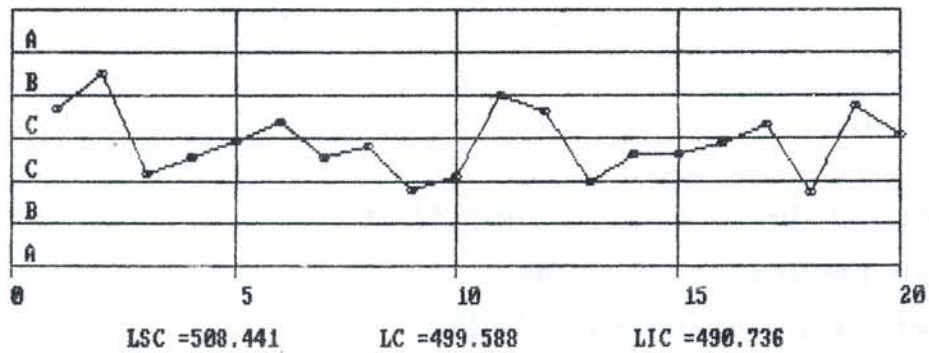
Promedio de promedios= 499.5884

Rango promedio= 15.2630

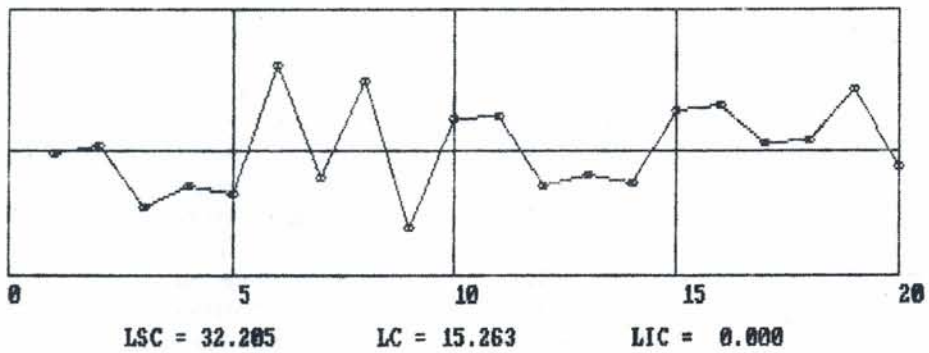
Desviación estándar= 6.56191

Muestra	Promedio	Rango
1	501.8160	14.7300
2	504.1120	15.6700
3	497.4660	8.3500
4	498.6620	10.8300
5	499.6681	9.9400
6	500.8320	25.1900
7	498.5660	11.7000
8	499.3160	23.2800
9	496.4160	5.6400
10	497.3000	18.7400
11	502.7340	19.3100
12	501.6320	10.8600
13	497.1000	12.0800
14	498.8360	11.1900
15	498.7801	19.8800
16	499.5140	20.6100
17	500.7120	15.8500
18	496.3400	16.1900
19	501.9040	22.2500
20	500.0620	12.9700

Gráfica de promedios



Gráfica de rangos



Nota: La gráfica de control se realizó con el software del apéndice

Patrón natural de la variabilidad

Los promedios de las muestras varían al azar, sin seguir un orden particular. La mayoría de las distribuciones del patrón natural tienden a ser razonablemente simétricas, por lo que el número de promedios de un lado y otro de la línea central es aproximadamente igual. La mayoría de los promedios estarán próximos a la línea central. Como los extremos de la distribución se extienden a ± 3 sigma puntos ocasionales se aproximarán a los límites de control. Estas características pueden resumirse en tres puntos como sigue:

- 1- La mayoría de los puntos en las zonas c.
- 2- Muy pocos puntos próximos a los límites de control.
- 3- Ninguno de los puntos fuera de los límites de control o muy raramente un punto fuera de los límites de control.

El patrón anormal se producirá cuando falte alguna de estas tres características.

De la gráfica de promedios del ejemplo 1 se puede concluir que el centro del proceso es estable, puesto que se cumplen los tres puntos mencionados anteriormente.

La gráfica de rangos también indica que la dispersión del proceso es estable, ya que ningún punto sale fuera de los límites de control.

De lo anterior se puede concluir que el proceso está bajo control estadístico.

Nota: La gráfica de control se realizó con el programa QUALITYALERT versión 2 de Penton Software Inc.

Interpretación de la gráfica \bar{X} y R

- *** Tener presente que la gráfica de promedios indica en que valor está centrado el proceso.
- *** Si la gráfica indica estabilidad el centro del proceso no se mueve. Si la gráfica muestra una tendencia el centro del proceso se está moviendo gradualmente hacia arriba o hacia abajo. Si la gráfica es errática y tiene puntos fuera de los límites de control, algo está cambiando el centro del proceso rápidamente e inconsistentemente.
- *** El centro del proceso generalmente se ve afectado por:
 - La preparación de la máquina.
 - Algunos otros ajustes del proceso.
 - Características particulares en el material o en la pieza que se está fabricando.
 - Cambios en el método por parte del operador o el inspector.
- *** La gráfica de promedios puede afectarse por condiciones fuera de control de la gráfica de rangos. Si ambas gráficas están fuera de control, verificar primero las causas que afectan a la gráfica de rangos.

Gráfica de rangos

- *** Tener presente que la gráfica de rangos indica uniformidad en la dispersión del producto.
- *** Si la gráfica de rangos es angosta el producto es uniforme. Si la gráfica es ancha el producto no es uniforme. Si la gráfica está fuera de control, algo está operando en el proceso de manera no uniforme.
- *** Cuando la gráfica esté fuera de control verificar si el mantenimiento no es pobre o se hizo una reparación inadecuada, comprobar si el operador no causo algún disturbio.

Interpretación de la gráfica \bar{X} y R

La gráfica se divide en seis zonas cada una de un ancho igual a $\sigma_{\bar{x}}$. Marcando las zonas A,B,C,C,B,A; localizando la zona C simétricamente a la línea central.

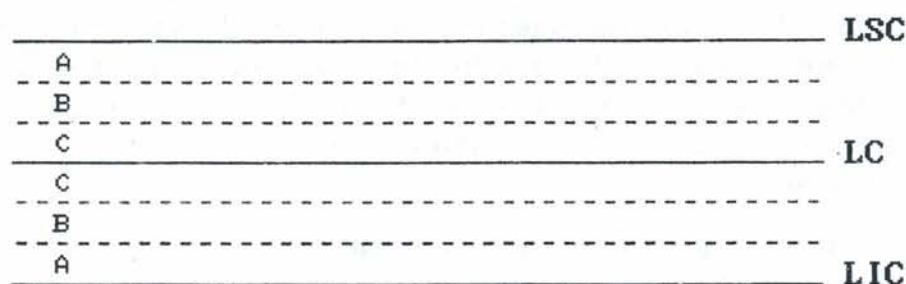


fig.4

Proceso bajo control

Se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando la gráfica de control muestra un patrón de variabilidad natural. El patrón natural está libre de causas anormales, la fig. 5 muestra un patrón natural típico.

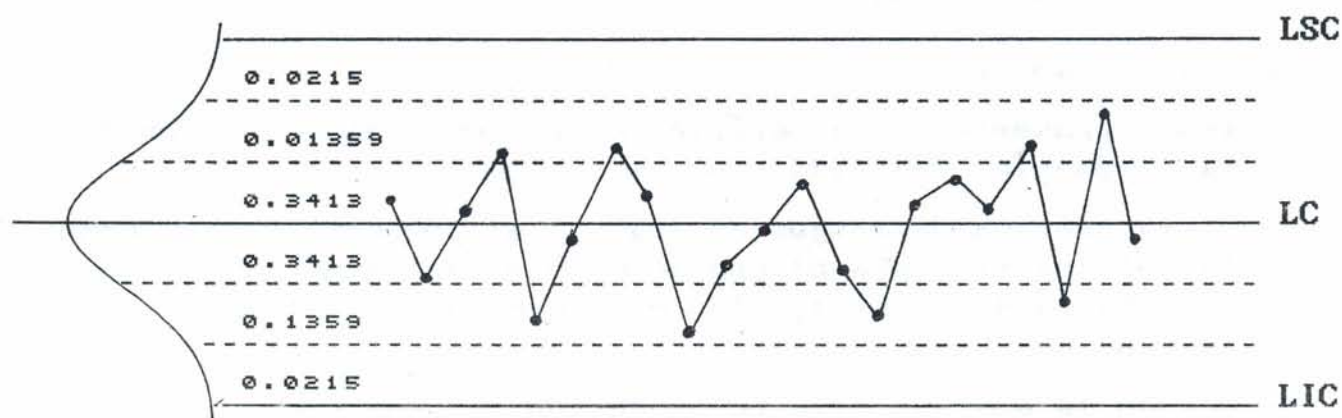


fig.5

De la fig. 5 se concluye fácilmente que la probabilidad de que el promedio de una muestra caiga en la zona C es de 0.3413, la probabilidad de que caiga en la zona B es de 0.1359 y la probabilidad de que caiga en la zona A es de 0.0215, la más baja de las tres. En un patrón natural hay muy pocos puntos cercanos a los límites de control, aproximadamente el mismo número de puntos a cada lado de la línea central, ningún punto fuera de los límites de control y la mayoría de los puntos en la zona C.

Criterios para juzgar las anomalías en la gráfica de promedios

Las siguientes figuras muestran las anomalías más comunes, su presencia en la gráfica de control puede ser evidencia de que el proceso está fuera de control. Sin embargo, no son todas las anomalías que indican que el proceso no es estable.

Un punto fuera de los límites de control

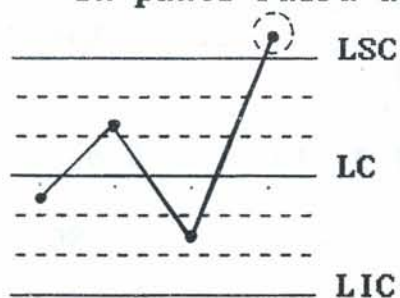


fig. 6

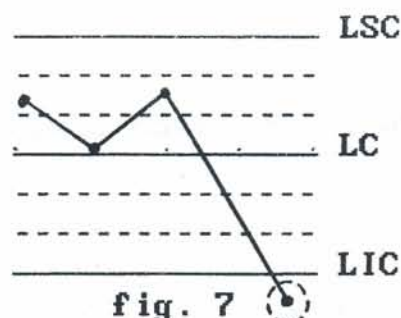


fig. 7

Dos de tres puntos sucesivos en la zona A o más allá

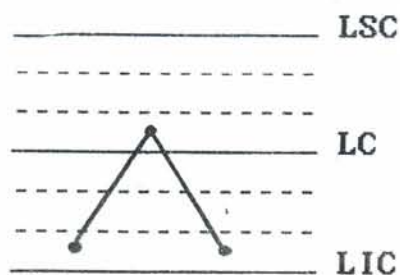


fig. 8

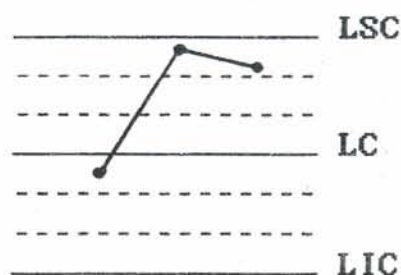


fig. 9

Seis puntos sucesivos ascendiendo o descendiendo consistentemente

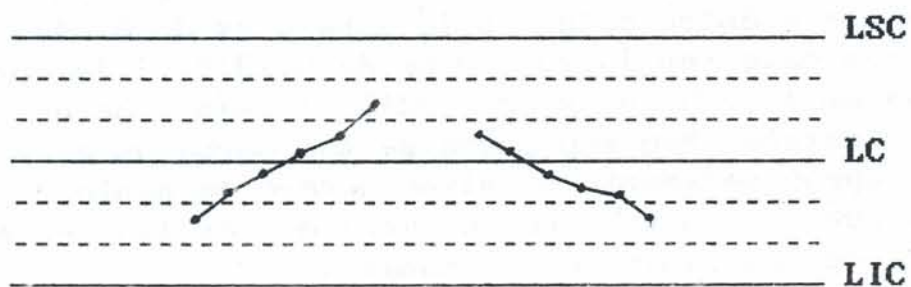


fig.10

14 puntos sucesivos hacia arriba y hacia abajo alternando

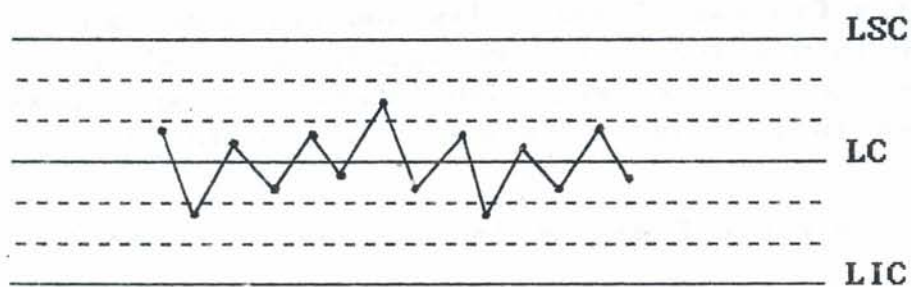


fig.11

Cuatro de cinco puntos sucesivos en la zona B o más alla

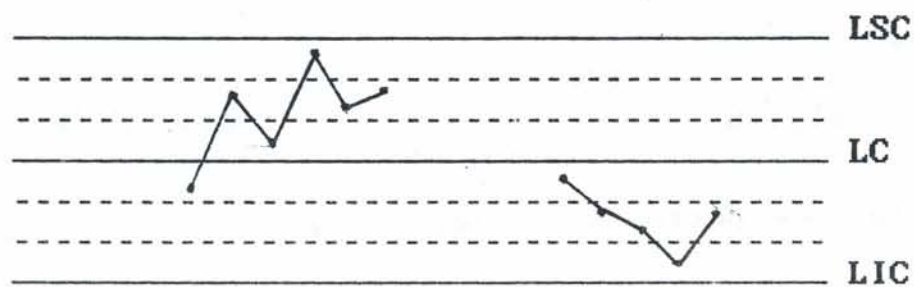


fig.12

15 puntos sucesivos en las zonas C

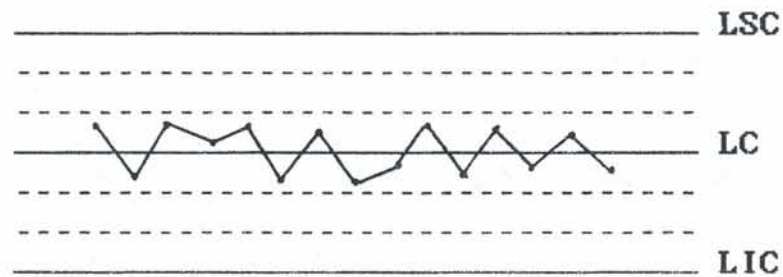


fig.13

8 puntos sucesivos en ambos lados de la línea central y ninguno en las zonas C

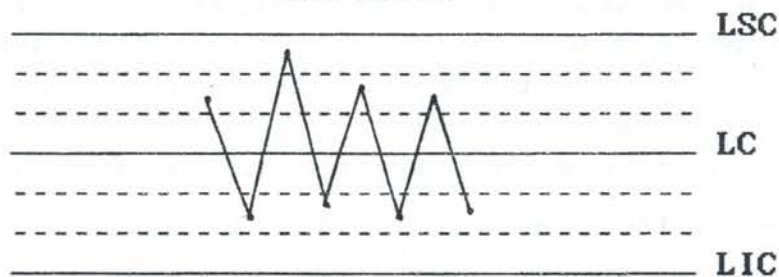


fig.14

También hay evidencia de falta de control cuando un punto en 35 puntos, o más de 2 puntos en 100 puntos caen fuera de los límites de control de la gráfica.

Un punto alejado fuera del límite de control.

Varios puntos próximos a los límites de control.

Estratificación

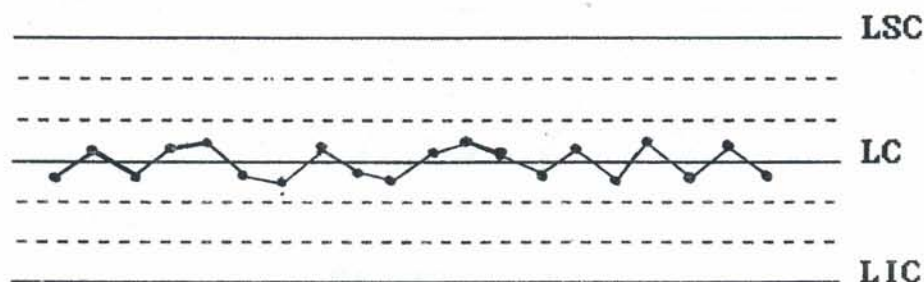


fig.15

La estratificación muestra una variabilidad muy pequeña comparada con la amplitud de los límites de control. No debe cometerse el error de suponer que este patrón indica buen control. Por el contrario muestra falta de control puesto que se trata de varias distribuciones encimadas.

Las causas del efecto de estratificación pueden ser:

- 1- Error en el cálculo de los límites de control.
- 2- Error al eliminar cifras decimales de los promedios de las muestras.
- 3- De un grupo de máquinas que fabrican la misma pieza tomar una pieza de cada máquina para conformar una muestra representativa.

Causas típicas de un patron de variabilidad anormal

Grafica de promedios

- Diferencias en el material.
- Cambio de operador.
- Cambio de inspector.
- Cambios en la preparación de la máquina.
- Cambios en el método de medición o calibración.
- Cambio de proveedor.
- Desgaste de la herramienta.
- Interpretación equivocada de las especificaciones.

Gráfica de rangos

- Mantenimiento deficiente de la máquina.
- Cansancio o descuidos del operador.
- Material no uniforme.
- Falta de cuidado del inspector.
- Dispositivos de sujeción sueltos o desgastados.
- Controles automáticos descompuestos.
- Ajustes innecesarios.
- Rotación de dispositivos y calibres de medición.

Índices de capacidad de proceso

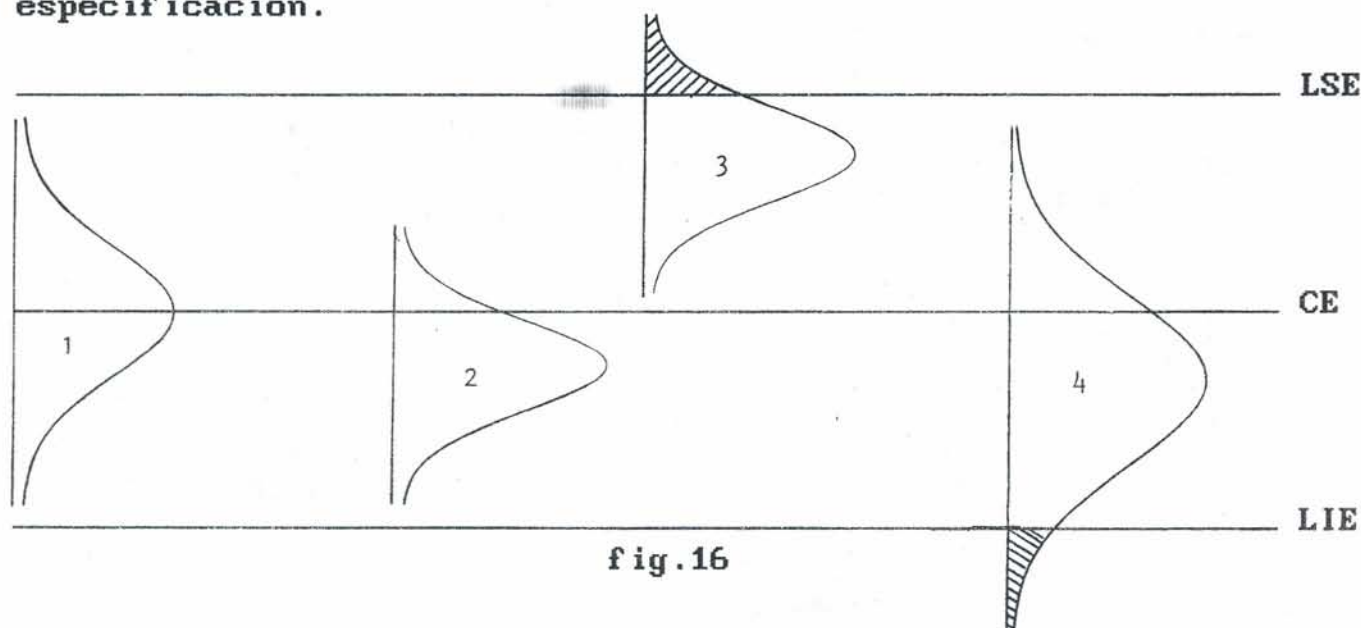
Los índices de capacidad de proceso se emplean para relacionar los parámetros del proceso (media y desviación estándar) con las especificaciones. El resultado de los índices no tiene unidades, pero es un lenguaje común para entender y cuantificar la capacidad de un proceso.

Los índices de capacidad de proceso derivan del control estadístico del proceso (CEP) y son:

$C_p - C_{ps} - C_{pi} - C_{pk} - C_{pm}$

Capacidad potencial del proceso (C_p)

El índice C_p no toma en consideración la aproximación de las mediciones al centro de la especificación, en la figura 16, se muestran 4 distribuciones y todas tienen un $C_p \geq 1$ porque su variabilidad es menor que la amplitud de los límites de especificación. Las medias de las poblaciones 2, 3 y 4 se desvían del centro de la especificación.



Las distribuciones 3 y 4 no tienen capacidad para reproducir la especificación, ya que algunas mediciones saldrán de los límites de la especificación.

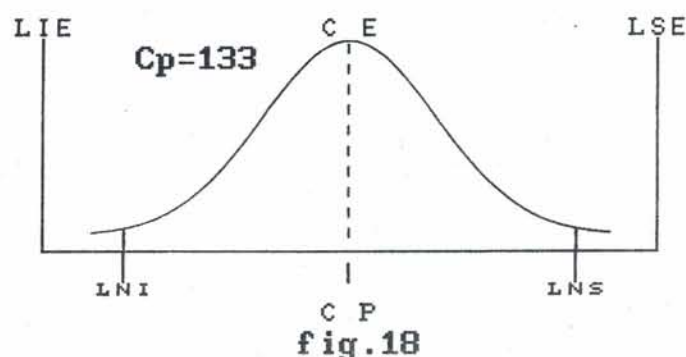
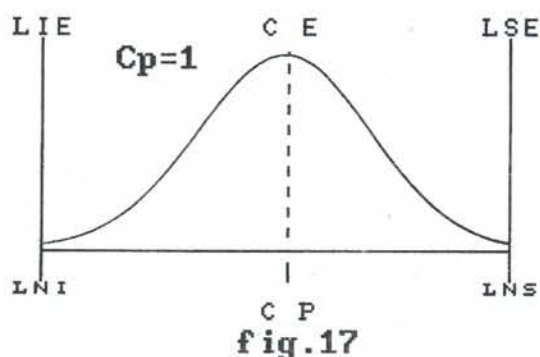
Un $C_p=1$ indica que el proceso es capaz de reproducir la especificación (figura 17). Pero debido a la variabilidad del muestreo y a las limitaciones para las pruebas de los procesos. El $C_p=1$ no se usa como un valor aceptable. Un $C_p=1.33$ garantiza un porcentaje de rechazo muy bajo de 0.007, fig 18.

Las fórmulas siguientes se emplean para evaluación del C_p :

$$C_p = \frac{\text{variabilidad permitida (tolerancias)}}{\text{variabilidad natural del proceso}}$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma'}$$

Estimación de : $\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$

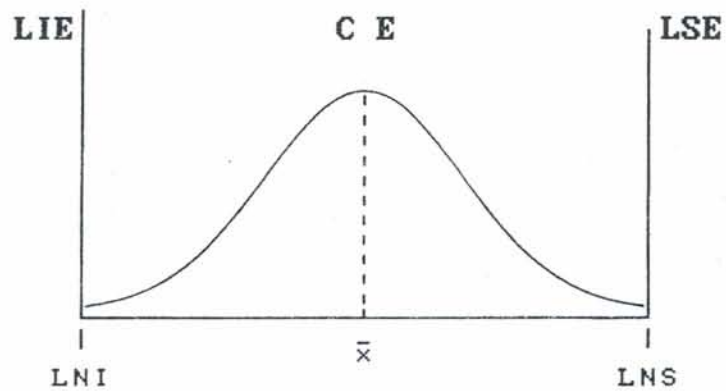


$$C_p = 1$$

$$C_{ps} = 1$$

$$C_{pi} = 1$$

$$C_{pk} = 1$$

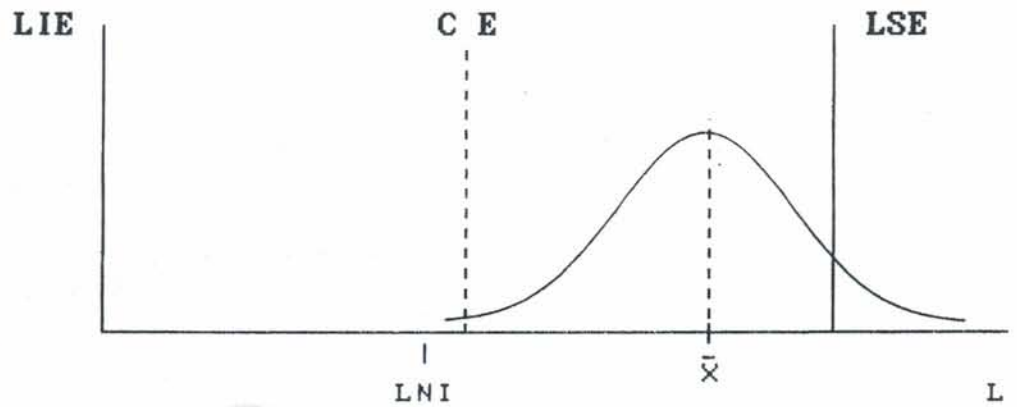


$$C_p = 1$$

$$C_{ps} = 0.33$$

$$C_{pi} = 1.66$$

$$C_{pk} = 0.33$$



$$C_p = 1.5$$

$$C_{ps} = 1.5$$

$$C_{pi} = 1.5$$

$$C_{pk} = 1.5$$

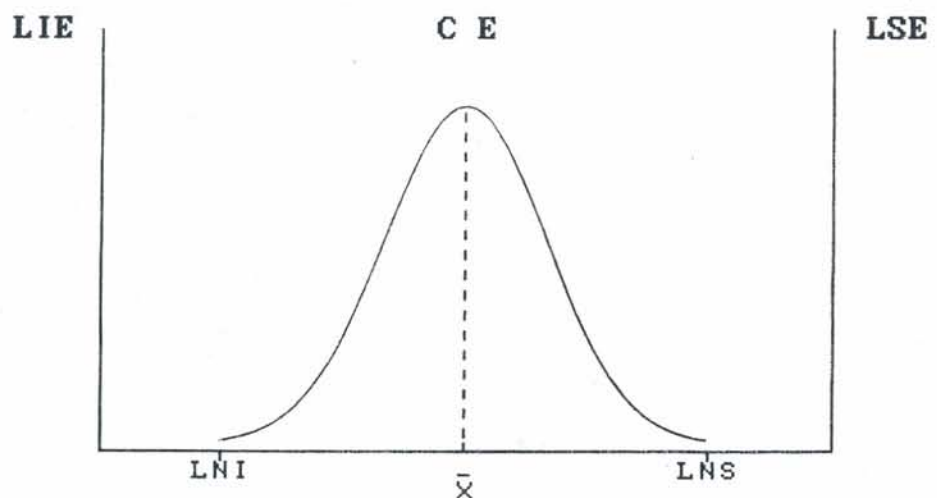


fig.19

Diagrama del CEP

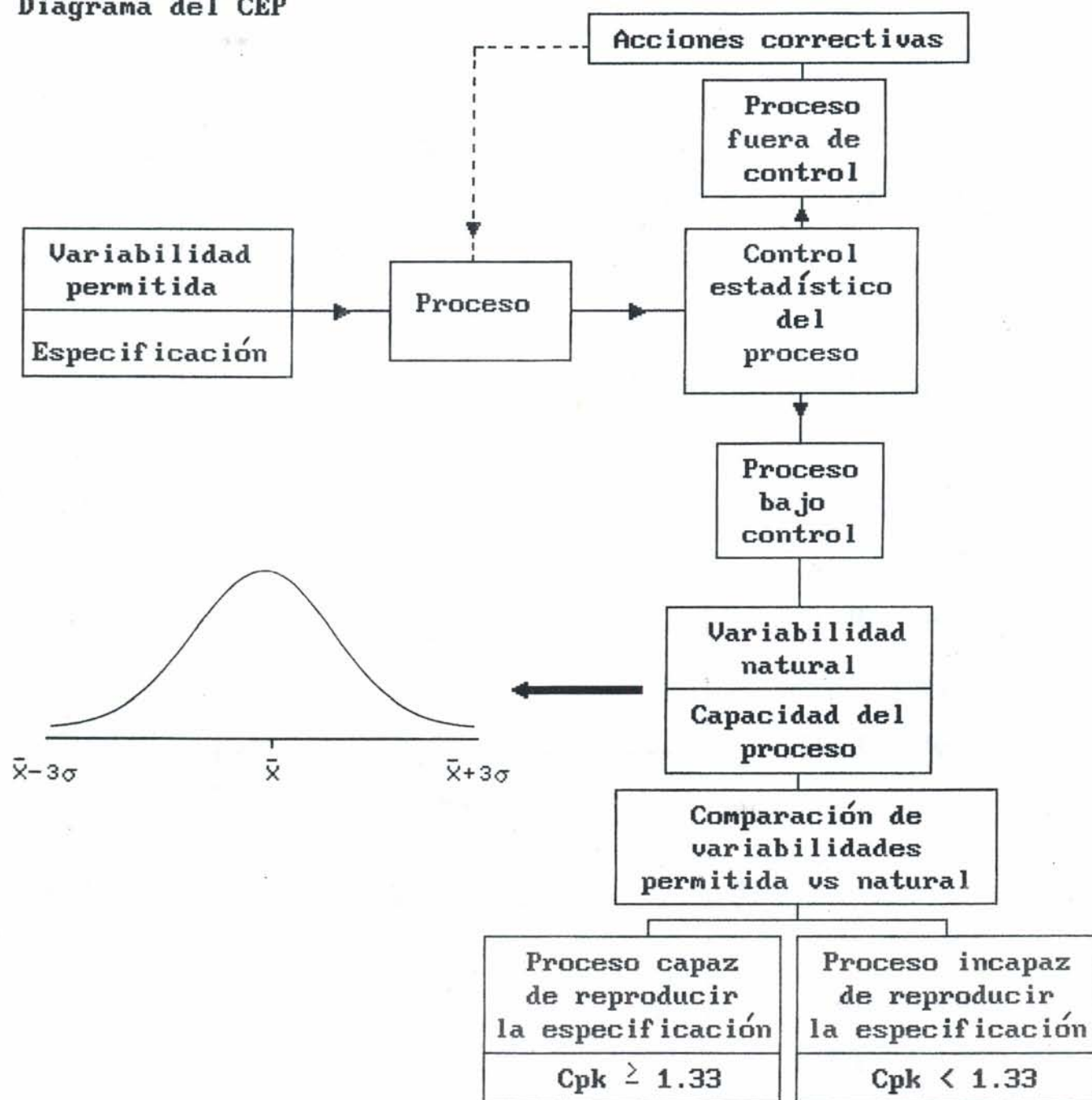


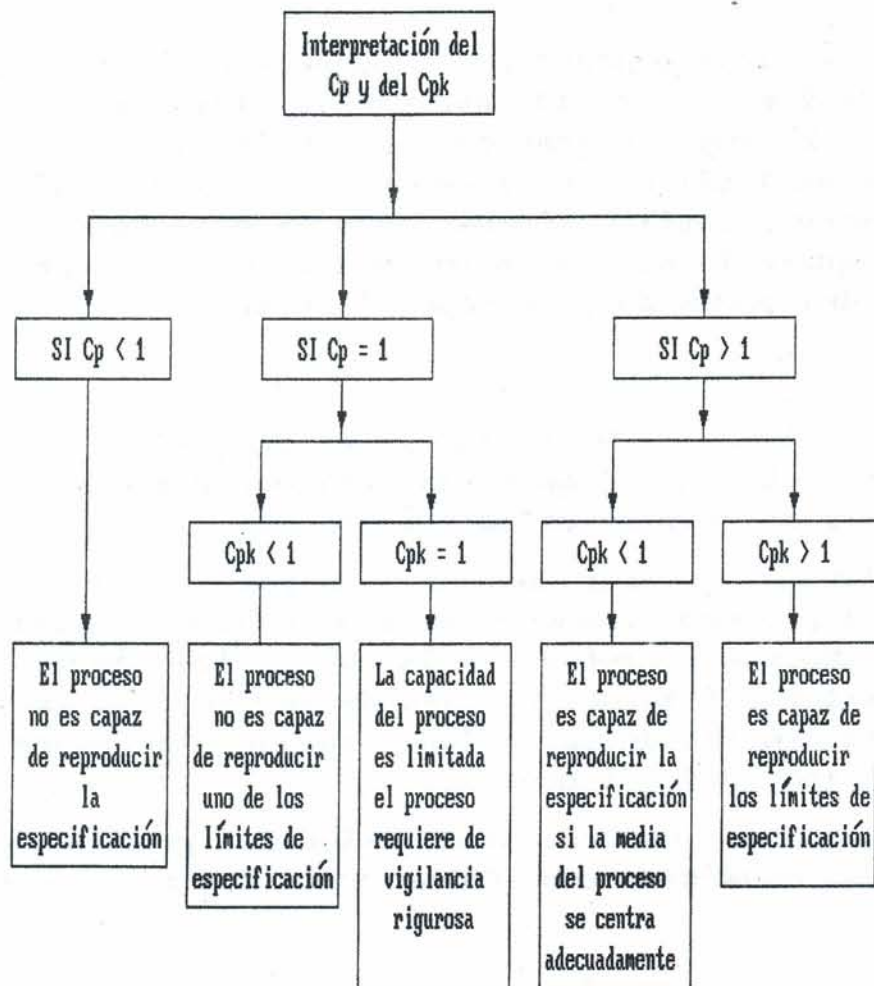
fig.20

El esfuerzo para fabricar productos que cumplan con la especificación requiere de tres fases: 1) fabricar la pieza de acuerdo a la especificación, 2) emplear gráficas para controlar el proceso y 3) minimizar la variabilidad para mejorar la uniformidad del producto. El mejoramiento continuo forma parte de esta fase y tiene como objetivo alcanzar la dimensión nominal y de esta forma optimizar la función del producto y reducir el costo.

Observaciones

Hasta ahora la experiencia a mostrado que el C_p y el C_{pk} no se emplean adecuadamente. Esto se debe fundamentalmente a que el usuario no entiende los principios estadísticos:

- 1- Existe la tendencia a querer conocer la capacidad del proceso antes de que el proceso se encuentre bajo control estadístico. Capacidad del proceso se refiere a la cuantificación de la variabilidad natural (causas normales de variación). La presencia de causas anormales de variación, impiden la determinación del índice de capacidad del proceso.
- 2- No se puede considerar control estadístico del proceso y capacidad de proceso separadamente. Ambos criterios deben evaluarse conjuntamente.
- 3- Los límites de especificación se emplean para valores individuales, por lo que no se pueden comparar con los límites de control; puesto que la variabilidad de los promedios de las muestras es menor que la variabilidad de los valores individuales.



Nota : Si el $Cp = 1$ y el $Cpk > 1$ hay un error en el cálculo del de Cp y / o Cpk .

fig. 21

Índice de capacidad de proceso Cpm

El uso del índice Cpm se recomienda cuando el centro del proceso es diferente del centro de la especificación o para tolerancias unilaterales. El Cpm tiene menos sesgo y por lo tanto es más confiable.

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - T)^2}{n - 1}}$$

T : Centro de la especificación (valor objetivo).

x : Valores individuales.

n : Número de valores individuales.

La figura 22 muestra la representación gráfica de los índices de capacidad de un proceso controlado estadísticamente. Con el centro del proceso igual a 9.82 y la desviación estándar de 0.5267.

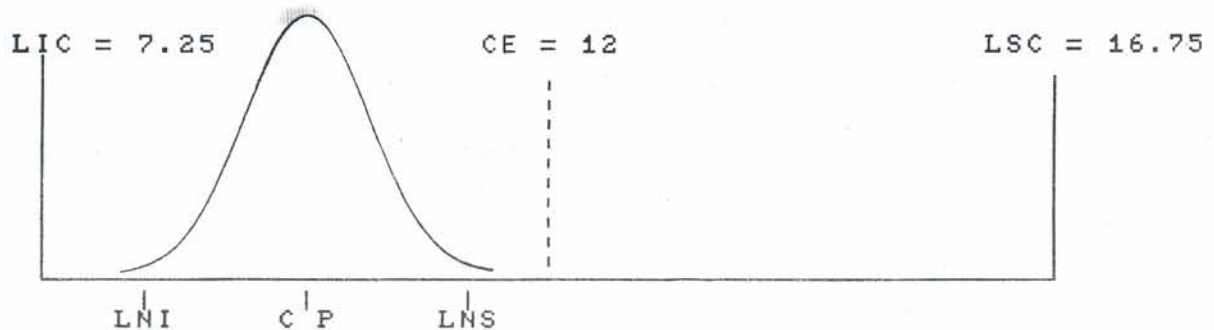


fig.22

Cálculo de los índices de capacidad de proceso de la fig. 22

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma} = \frac{16.75 - 7.25}{6 \times 0.5267} = 2.84$$

$$Z = \frac{9.82 - 7.25}{0.5267} = 4.87$$

$$Z = \frac{16.75 - 9.82}{0.5267} = 13.15$$

$$C_{pk} = \frac{4.87}{3} = 1.62$$

$$C_{ps} = \frac{16.75 - 9.82}{3 \times 0.5267} = 4.38$$

$$C_{pi} = \frac{9.82 - 7.25}{3 \times 0.5267} = 1.62$$

$$C_{pm} = \frac{16.75 - 7.25}{6 \times 2.285} = 0.69$$

Nota: Para el cálculo de los índices de capacidad de proceso consultar el software del apéndice.

Valor objetivo

Cuando las tolerancias son bilaterales y tienen el mismo valor el valor objetivo (VO) es igual a la dimensión nominal.

Especificación: 25.47 ± 0.03 mm

Valor Objetivo: 25.47 mm

Cuando las tolerancias son bilaterales y tienen diferente valor, el valor objetivo es igual al centro de los límites de especificación.

Especificación: $25 \begin{matrix} + 0.04 \\ - 0.02 \end{matrix}$ mm

LSE = $25 + 0.04 = 25.04$ mm

LIE = $25 - 0.02 = 24.98$ mm

Valor objetivo = 25.00 mm

Cuando las tolerancias son unilaterales, el valor objetivo es igual al centro de los límites de especificación.

Especificación: $100 \begin{matrix} - 0.072 \\ - 0.176 \end{matrix}$ mm

LSE = $100 - 0.072 = 99.928$ mm

LIE = $100 - 0.126 = 99.874$ mm

Valor objetivo = 100.00 mm

Proceso centrado en valor objetivo

La figura 23 muestra un proceso centrado en el valor objetivo con $C_p = C_{pk} = 1$, el proceso puede considerarse "hábil" con solo cerca del 3 % del producto que no cumple con la especificación. Aunque algunas causas especiales de variación pueden aumentar el porcentaje de unidades defectuosas.

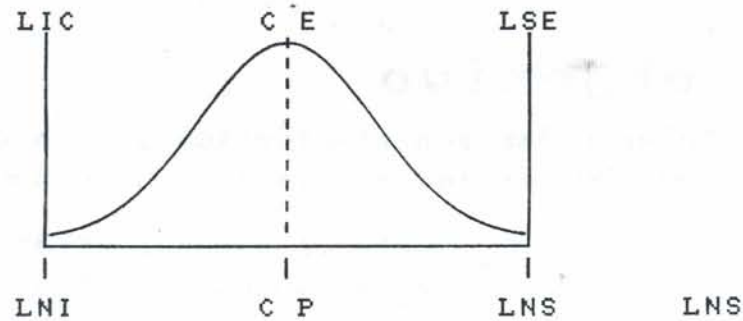


fig.23

Proceso centrado en el valor objetivo

La figura 24 muestra un proceso centrado en el valor objetivo con un $C_p = C_{pk} = 1.66$. Los límites de especificación están a cinco desviaciones estándar de la media del proceso. Este proceso puede absorber cierta variabilidad producida por causas anormales sin generar producto defectuoso.

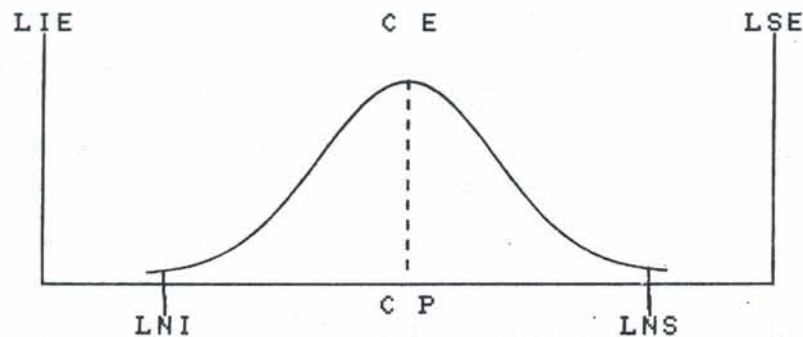


fig.24

Proceso no centrado en el valor objetivo

La figura 25 muestra un proceso no centrado en el valor objetivo con $C_p = 3$ y $C_{pk} = 1.33$. Este proceso indica capacidad marginal, desajustes en los factores de la variabilidad pueden generar producto defectuoso abajo del LIE. Puede mejorarse corriendo el

centro del proceso tan lejos como sea posible del LIE. El cambio del centro del proceso se puede efectuar con diseño de experimentos.

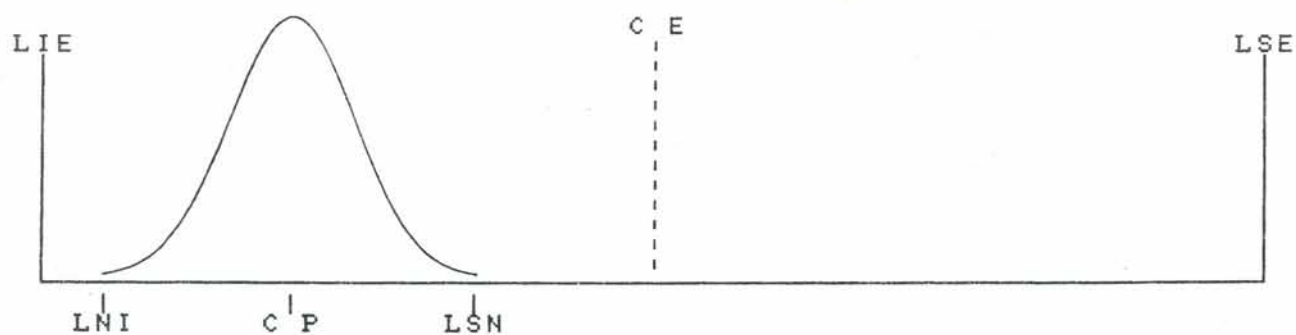


fig.25

Dificultades para implantar el CEP

- Resistencia al cambio.
- Falta de compromiso de la administración.
- Conocimiento deficiente de la técnica del CEP.
- Falta de motivación en el CEP.
- Reacción negativa de los supervisores.
- Reacción negativa de los operadores.
- Reacción negativa del sindicato.
- Insuficiente información para demostrar que el CEP produce beneficios.
- Falta de capacitación en el CEP.
- Falta de conocimiento de técnicas para la solución de problemas.

Para obtener resultados y minimizar problemas, las siguientes preguntas deben contestarse antes de establecer el CEP.

- 1- Por qué se quiere implantar el CEP ? y que se espera de él ?
- 2- Existe una estrategia para el CEP ?
- 3- Cómo encaja el CEP dentro de la política de calidad total ?
- 4- Los gerentes comprenden el CEP ?
- 5- La alta gerencia tiene verdadero interés en el CEP ?
- 6- Existe alguien en la organización con un buen conocimiento del CEP ?
- 7- Se tiene planeado un programa de capacitación para el CEP ?
- 8- Se tiene definido cuál gente debe estar familiarizada con el CEP ?
- 9- La gente esta intimidada por el establecimiento del CEP ?
- 10- Se tiene definido un plan para analizar y eliminar las causas anormales de variación y reducir la variabilidad del proceso ?

Resumen

La figura 26 ilustra en forma muy general el funcionamiento del control estadístico del proceso. Las mediciones de una característica particular se recopilan, calculando el promedio y el rango para registrarse en una gráfica de control. Con el análisis de recorridos, tendencias o agrupamientos de los puntos se llega a la conclusión de si el proceso está bajo control estadístico o no. Si la conclusión es que el proceso está fuera de control, debe iniciarse la búsqueda de las causas anormales de variación y tomarse una acción correctiva para asegurarse de que en el futuro no se presentarán.

Algunas señales que indican que el proceso está fuera de control se fundamentan en el reconocimiento de los patrones de no aleatoriedad como son:

- * Tendencias hacia arriba o hacia abajo.
- * Puntos fuera de los límites de control.
- * Cambios subitos en los promedios o los rangos.
- * Puntos con tendencia a aproximarse a la línea central.

Estos patrones tienen muy baja probabilidad de ocurrencia si el proceso está verdaderamente bajo control.

Estas reglas estadísticas son necesarias, pero no suficientes, son parte de la solución del problema, ya que proporcionan una señal de inestabilidad de los datos, pero los síntomas y las medidas de corrección del problema requieren de otro tipo de análisis. Por ejemplo: una tendencia (serie de puntos que va de un lado de la línea central al otro lado de la línea central, sin cambio de dirección, hacia arriba o hacia abajo), un analista con experiencia sabe que este patrón de puntos se debe a causas como:

Gráfica \bar{X}

- Desgaste de la herramienta.
- Roscas gastadas en dispositivos de sujeción.
- Mantenimiento inadecuado del equipo de medición.

Control estadístico del proceso

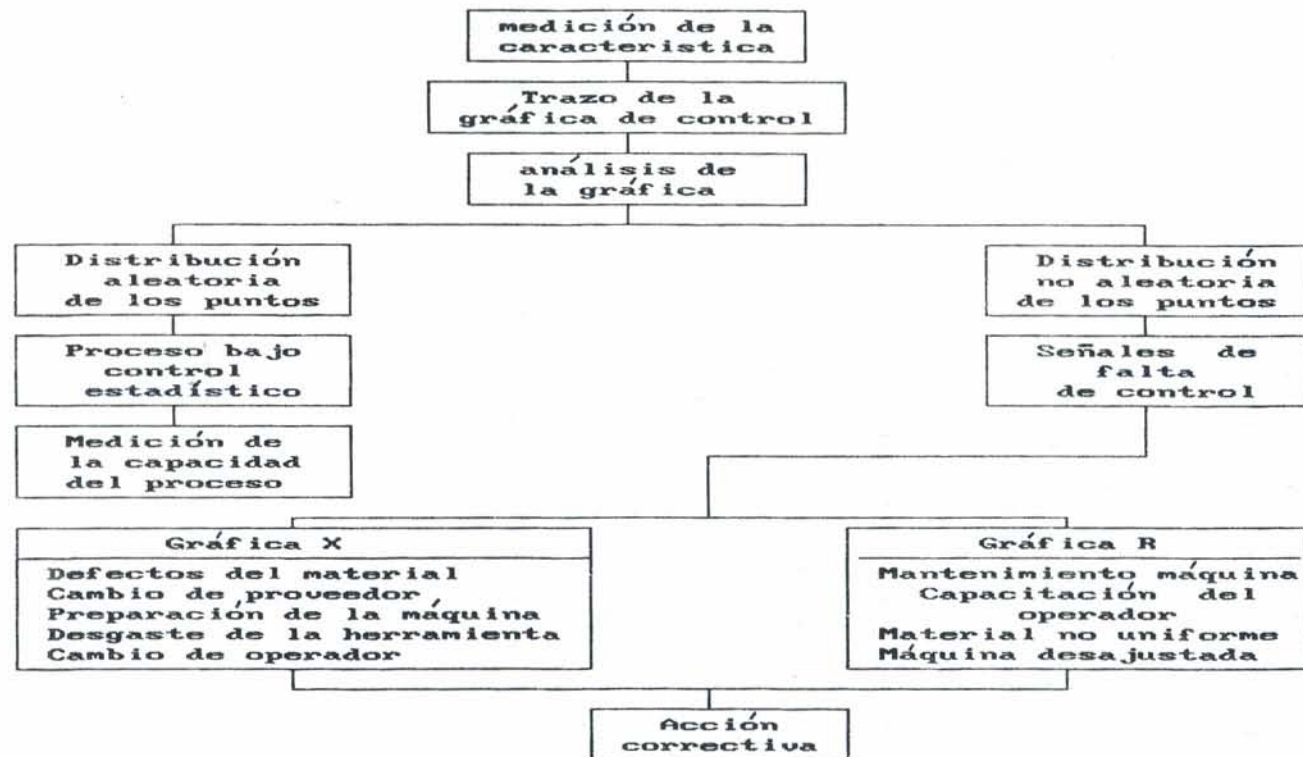


fig.26

- Fatiga del operador.
- Deficiente mantenimiento de limpieza de la máquina y dispositivos auxiliares de fabricación.

Nota: la gráfica R debe estar bajo control.

Gráfica R

tendencia hacia arriba:

- Material poco homogéneo.
- Algo suelto o desgastándose gradualmente.

tendencia hacia abajo:

- Mejoramiento en la operación.
- Efecto de un mejor programa de mantenimiento.
- Material más homogéneo.
- Efecto de un mejor control en otras operaciones.

Buscando dentro de estas posibles causas la verdadera raíz del problema.

Una vez que se determina que el proceso está bajo control estadístico y se sabe que es capaz de reproducir la especificación, la gráfica \bar{X} y R se utiliza para monitorear el proceso sistemáticamente.

El director de la empresa no es el entrenador del equipo de calidad, es un jugador muy importante que se necesita en el terreno de juego para infundir entusiasmo, participando en el proceso de cambio e influyendo en el esfuerzo conjunto para mejorar la calidad. Si el no se compromete no habrá compromiso de los demás. Si el no cree en la calidad esta no existirá.

Se piensa que la fabricación está bajo control por medio de inspección ciento por ciento, obteniendo 4.9 % de desperdicio y 3 % de retrabajo.

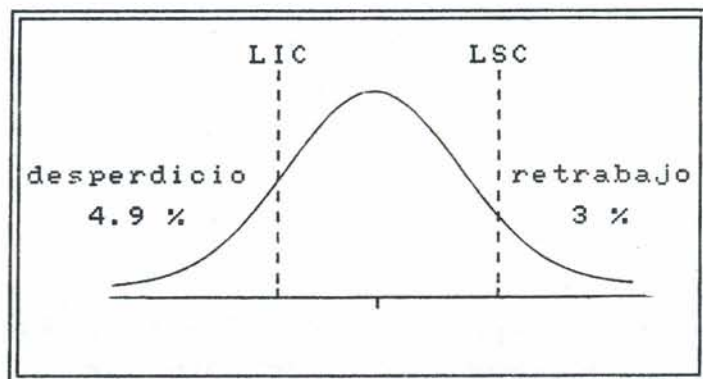


fig.27

Para proteger el prestigio de la empresa y al consumidor, la política establecida es que cualquier pieza abajo del LIE es desperdicio y se coloca en un recipiente y todos los días son destruidas. Por lo que para cumplir con la demanda anual neta se requiere producir 1 049 333 unidades.

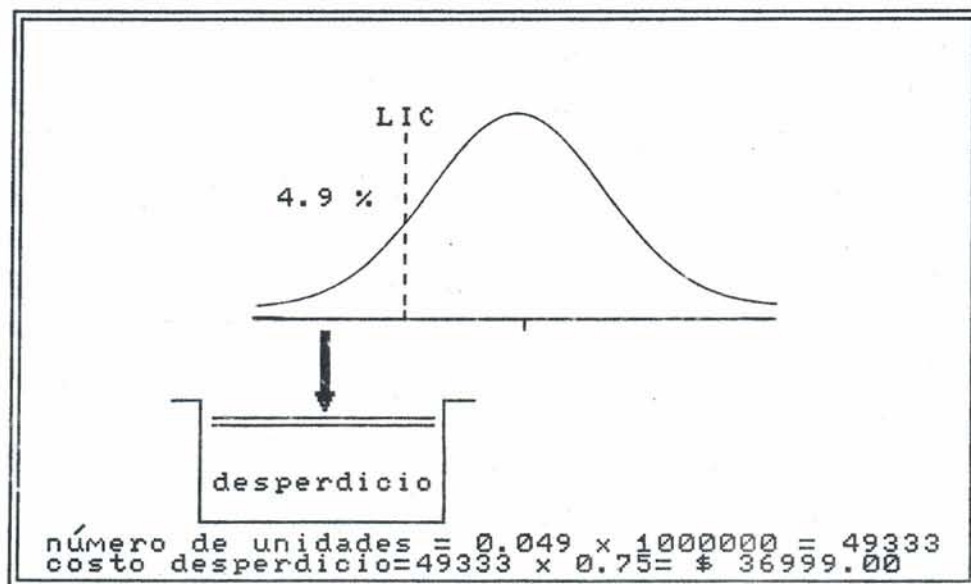


fig.28

El retrabajo genera un costo de \$ 0.10 por unidad.

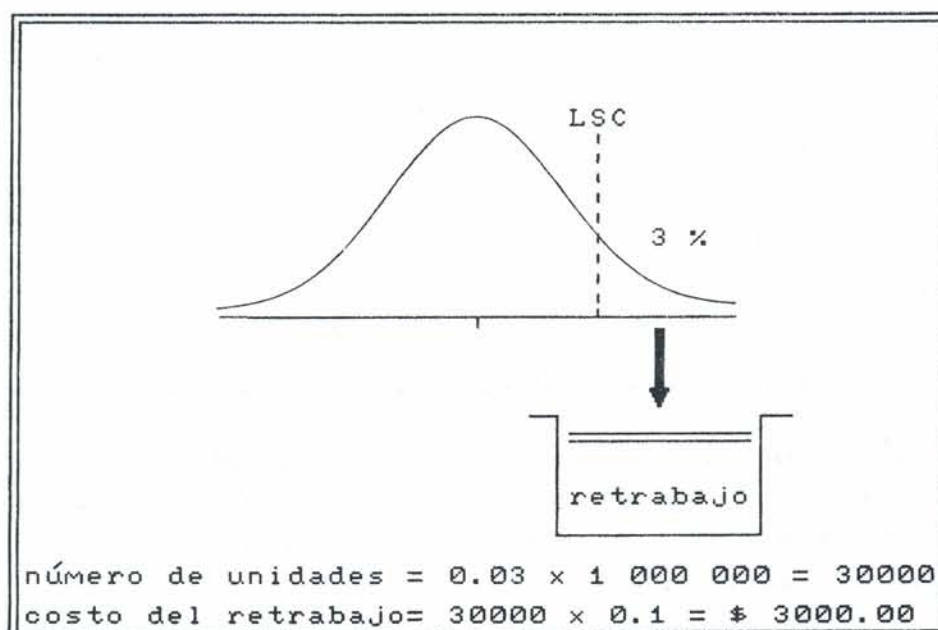


fig.29

Como la inspección ciento por ciento no es eficaz 100 %. Supongase que los inspectores están bien capacitados y las condiciones de inspección son buenas. Esto produce una eficiencia en la inspección del 99%. Lo que significa que después de la inspección se embarcarán 10 000 unidades defectuosas, que generarán un gasto de garantía de \$ 10 000.00. Con lo cual el pronóstico de utilidades se reduce a \$ 50 000.00.

Pérdidas no planeadas:	
Garantías	\$ 10 000.00
Desperdicio	37 000.00
Retrabajo	3 000.00
Total	\$ 50 000.00
utilidad actual = $100\,000 - 50\,000 = 50\,000.00$	
pérdidas como porcentaje de las utilidades	
→ 100 % ←	

fig.30

Comparando las cifras reales contra las cifras ideales, se observa que las utilidades podrían duplicarse si se elimina el retrabajo y el desperdicio.

Concepto	Real	Ideal
Producción	1049333	1000000
Desperdicio	\$ 37000.00	_____
Retrabajo	3000.00	_____
Garantias	10000.00	
Utilidad	50000.00	\$ 100000.00

Una segunda empresa esta ofreciendo el producto a \$0.95 y su calidad es superior. Si la primera empresa desea permanecer en el mercado, debe reducir el precio de su producto en \$ 0.05 con las consecuencias siguientes:

Ingresos		\$ 950 000.00
Costo	\$ 900 000.00	
Retrabajo	3 000.00	
Desperdicio	37 000.00	
Garantias	10 000.00	
Total	950 000.00	
Utilidades = 950 000 - 950 000 = 0.00		

Por lo tanto la empresa está obligada a abandonar el mercado o a mejorar la calidad del producto, para convertirse en una empresa sana y competitiva.

Centro de proceso más económico

Cuando un proceso es considerado como incapaz de reproducir la especificación. Se requiere tomar una de las cuatro decisiones siguientes:

- 1- Solicitar ampliación de las tolerancias.
- 2- Buscar otra alternativa de máquina dentro de la empresa.
- 3- Reparar la máquina.
- 4- Comprar otra máquina.

Si por los requisitos funcionales de la pieza no es posible tomar ninguna de las tres primeras decisiones, la cuarta puede necesitar de cierto tiempo. Por lo cual es necesario trabajar el proceso bajo las condiciones actuales, mientras se recibe el nuevo equipo.

La producción fuera de los límites de especificación es retrabajo y desperdicio, cuando los costos son diferentes. Es importante saber cual es el centro del proceso que minimiza estos costos. Esto puede hacerse por medio de ensayos que resultan laboriosos; sin embargo con el programa COSTMIN se puede determinar el centro optimo del proceso asociado con el costo minimo de retrabajo y desperdicio.

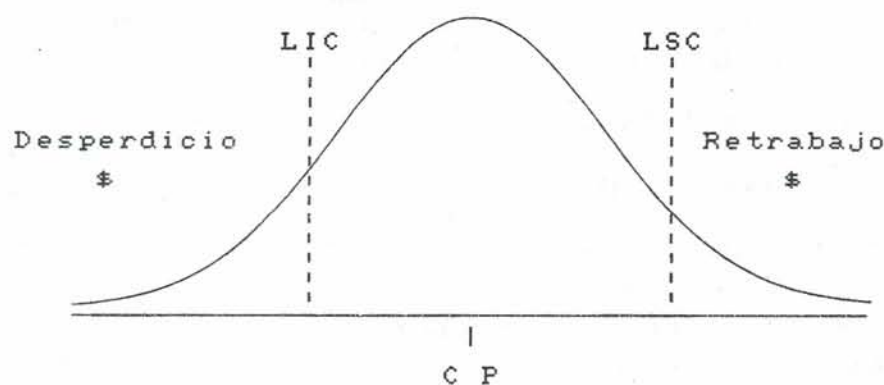


fig.31

El programa requiere que se le proporcionen los datos siguientes:

- 1- Centro actual del proceso.
- 2- Desviación estándar del proceso.
- 3- Límite inferior de la especificación.
- 4- Límite superior de la especificación.
- 5- Costo unitario del desperdicio.
- 6- Costo unitario del retrabajo.
- 7- Volumen de producción.

Las partes arriba del límite superior de la especificación se consideran retrabajo y las partes abajo del límite inferior de la especificación desperdicio. Para la condición opuesta el usuario debe realizar los cambios mentalmente. Si el tamaño del lote es la unidad, el costo de salida será unitario.

Ejemplo No.2

Un proceso bajo control estadístico tiene un $Cpk = 0.37$, el proceso no tiene capacidad para reproducir la especificación. Como el nuevo equipo tardará 4 meses, se desea estimar el centro óptimo del proceso para minimizar los costos de retrabajo y desperdicio.

- Centro actual del proceso = 25.945
- Desviación estándar = 0.0053
- Límite inferior de la especificación = 25.939
- Límite superior de la especificación = 25.960
- Costo unitario de retrabajo = \$ 10.00
- Costo unitario de desperdicio = \$ 50.00
- Número de piezas fabricadas = 18000

Con estos datos la salida de la computadora es la siguiente:

Con el centro actual del proceso:

Número esperado de piezas de retrabajo = 41.8847
Número esperado de piezas de desperdicio = 2318.055
Costo esperado de retrabajo = \$ 418.847
Costo esperado de desperdicio = \$ 115902.80

Con el nuevo centro del proceso:

Centro del proceso que minimiza el costo = 25.95165

Número esperado de piezas de retrabajo = 1037.453

Número esperado de piezas de desperdicio = 152.7465

Costo esperado del retrabajo = \$ 10374.53

Costo esperado del desperdicio = \$ 7637.323

Costo total de retrabajo y desperdicio mínimo esperado=\$ 18011.86

El ahorro esperado con el lote de 18000 piezas y el centro de proceso de 25.95165 es de \$ 98309.75

Como puede observarse, operando el proceso con el centro actual el costo de retrabajo y desperdicio es de \$ 116321.60 por cada 18000 piezas. Si el centro del proceso se ajusta a 25.95165 el costo total de retrabajo y desperdicio se reducirá a \$ 18011.86 por cada 18000 piezas fabricadas.

Intercambiabilidad

Una parte intercambiable es aquella que puede ser sustituida por otra similar que fue fabricada con las mismas especificaciones. En la práctica existen varios grados de intercambiabilidad. Por ejemplo: intercambiabilidad total e intercambiabilidad local. En el primer caso se asume que partes similares que provienen de cualquier fuente (diferentes fabricas), son intercambiables. En el segundo caso, partes fabricadas en una fuente específica (una sola fabrica) son intercambiables, pero tales partes no son necesariamente intercambiables con partes similares fabricadas en otros lugares.

La intercambiabilidad de las partes está fundamentada en dos factores: El primero es que las partes deben ser diseñadas con límites específicos y el segundo factor es que las partes deben ser fabricadas dentro de los límites especificados, los cuales deben ser controlados estadísticamente. Para determinar los límites de especificación, el diseñador debe guiarse por la funcionalidad de las partes ensambladas y el funcionamiento correcto va a depender del juego o apriete entre las superficies ensambladas.

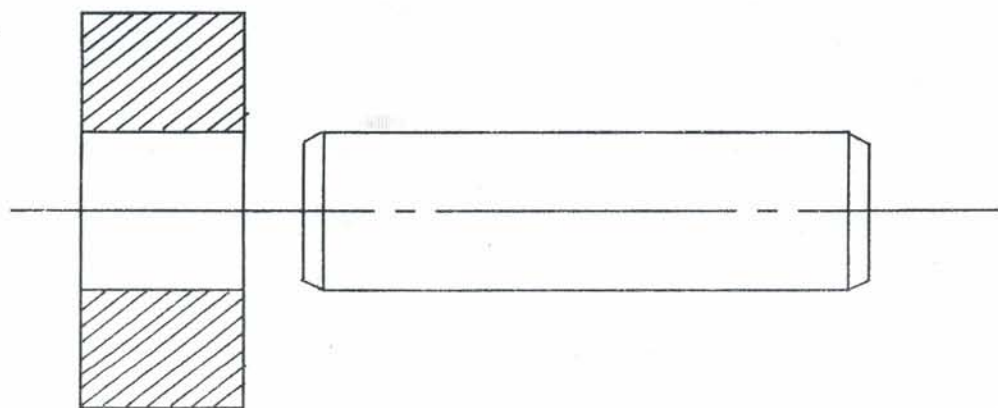


fig.32

El establecimiento de las especificaciones de un producto requiere de un balance entre el diseño y la fabricación. Las tolerancias deben ser suficientemente pequeñas para la funcionalidad y fiabi-

lidad del producto. Por otro lado lo suficientemente amplias para que sean compatibles con la variación del proceso de fabricación. Las tolerancias pequeñas aumentan el costo de fabricación. Las tolerancias amplias favorecen el costo. las tolerancias económicas están relacionadas con el grado de intercambiabilidad requerido.

Características fundamentales de un ensamble de un agujero con un árbol (fig.32):

- 1-La tolerancia del agujero y del árbol son fundamentales para la fabricación.
- 2-Un ensamble correcto sólo se obtiene cuando las partes ensambladas están fabricadas dentro de los límites especificados.
- 3-Un ensamble defectuoso se obtiene cuando las partes ensambladas están fuera de los límites especificados.

Determinación del juego mínimo y máximo esperado en el ensamble de un agujero con un árbol.

Una de las propiedades de la distribución normal, es que si se tienen dos piezas cuya fabricación sigue una distribución normal aproximadamente (fabricación bajo control estadístico) y las piezas se juntan en un ensamble no lineal (agujero-árbol). El juego de los ensambles se distribuye en forma normal aproximadamente (fig. 33) cuyos parámetros son:

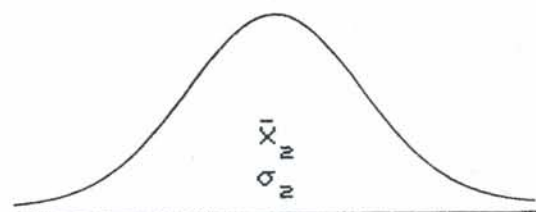
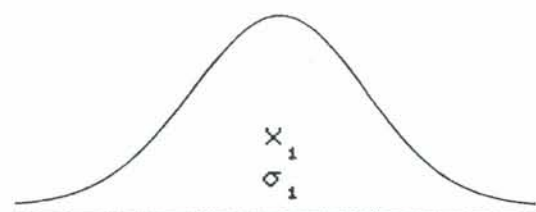
$$\begin{aligned}\bar{X} &= \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \\ \sigma &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}\end{aligned}$$

$$\text{Juego mínimo del ensamble} = \bar{X} - 3\sigma$$

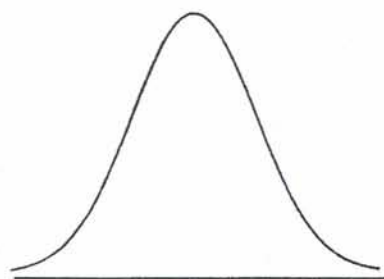
$$\text{Juego máximo del ensamble} = \bar{X} + 3\sigma$$

Distribución agujeros

Distribución árboles



Distribución de los juegos de los ensambles



$$\bar{X} = \bar{X}_1 - \bar{X}_2$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

fig.33

Ejemplo No.3

Dos máquinas están fabricando piezas que deben cumplir con las especificaciones siguientes:

$\begin{matrix} +0.033 \\ 0 \end{matrix}$
25 mm para el agujero

$\begin{matrix} -0.065 \\ -0.117 \end{matrix}$
25 mm para el árbol

Los procesos de fabricación están bajo control estadístico con media de 25.0137 y desviación estándar de 0.0028 para el agujero. Con media de 24.9176 y desviación estándar de 0.0043 para el árbol. Determinar el juego mínimo y máximo esperado de los ensambles. Las figuras 34 y 35 muestran gráficamente el Cpk de los procesos.

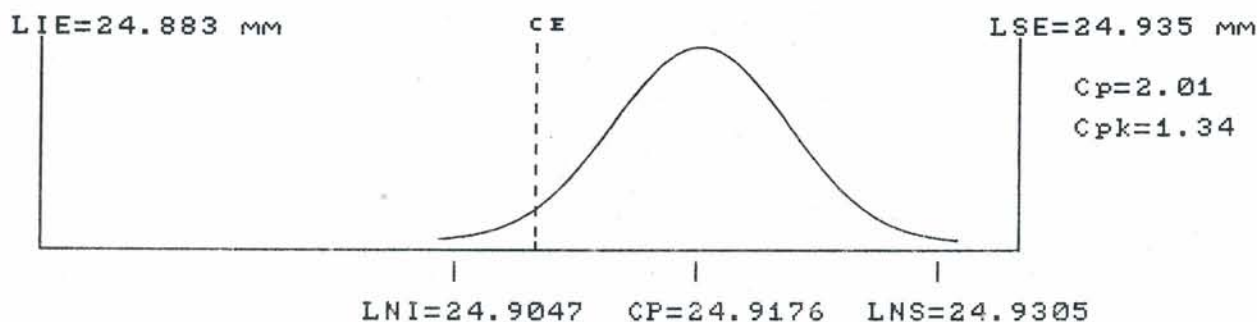
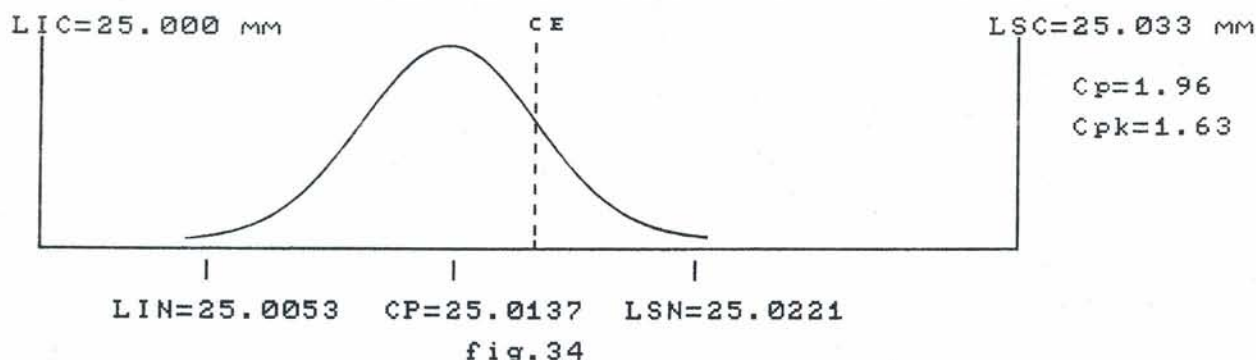


fig.35

Para el ejemplo No. 3 no existen límites de especificación para el juego, los resultados son los siguientes:

Media de los ensambles = 0.0961

Desviación estándar de los ensambles = 0.0051

Límite natural superior de los juegos = 0.1115

Límite natural inferior de los juegos = 0.0807

Los límites naturales del juego representan al juego mínimo y máximo esperado.

Ejemplo No.4

Dos máquinas bajo control estadístico están produciendo dos piezas que deben cumplir con las especificaciones siguientes:

$\begin{array}{r} +0.07 \\ 0 \end{array}$
17 mm para el agujero

$\begin{array}{r} -0.050 \\ -0.093 \end{array}$
17 mm para el arbol

El proceso de fabricación del agujero tiene una media de 17.014 y una desviación estándar de 0.006. El proceso de fabricación del arbol tiene una media de 16.931 y una desviación estándar de 0.0211. Si la especificación para el juego mínimo de los ensambles es de 0.065 y para el juego máximo es de 0.10, que porcentaje de ensambles no cumplan con el juego especificado.

Media de los juegos = 0.0830

Desviación estándar de los juegos = 0.0219

Límite natural superior de los juegos = 0.1488

Límite natural inferior de los juegos = 0.0172

El límite del juego máximo se localiza a 0.77

Porcentaje de ensambles que no cumplen con el
juego máximo = 21.92

El límite del juego mínimo se localiza a -0.82
desviaciones estándar de la media.

Porcentaje de ensambles que no cumplen con el
juego mínimo = 20.60

Resumen

La función básica de producción es controlar el proceso para asegurar que el producto tenga el nivel de calidad requerido. Esta actividad es principalmente tecnológica y requiere del trabajo en equipo del ingeniero de proceso, del supervisor, del preparador, del operador y de control de calidad. Este esfuerzo conjunto representa un inevitable costo de manufactura.

Las gráficas de control pueden ser utilizadas para obtener un adecuado control del proceso y una medición cuantitativa de la variabilidad del proceso.

Una gráfica de control es una prueba de hipótesis de que la variabilidad del proceso está controlada. Si la hipótesis es aceptada el proceso es considerado bajo control. La repetición de las pruebas de hipótesis a intervalos definidos de tiempo mantienen el proceso bajo control. Las gráficas de control minimizan los errores de decisión, los cuales están asociados a los gastos de producción con la búsqueda de problemas donde no existen y fallando en buscar donde realmente existen.

Las gráficas de control más comunmente empleadas son \bar{X} y R. La eficiencia del control del proceso depende de la habilidad que la gráfica tiene para detectar la presencia de causas anormales de variación.

La capacidad del proceso o tolerancias naturales es el resultado de la eliminación de las causas anormales de variación. Y la variación remanente se debe a causas al azar inherentes al proceso.

Una medición general de la capacidad del proceso para una característica determinada es $6 \sigma_{\bar{x}}$. Esto indica que se espera que los límites naturales de variación del proceso serán excedidos un porcentaje muy pequeño de las veces, si el proceso está bajo control estadístico. La desviación estándar de la población puede ser estimada con la relación σ'/d_2 . El valor de d_2 se proporciona para varios tamaños de muestra en la tabla 2.

La capacidad de un proceso se refiere a una característica geométrica específica. Cualquier proceso tiene muchos valores de capacidad cada uno asociado con una operación dada y una característica geométrica del producto.

Es útil tabular las capacidades de los procesos para operaciones típicas de manufactura de productos. Estos datos de las capacidades de procesos ayudan a asignar la producción a máquinas específicas. También son útiles para que los diseñadores establezcan especificaciones realistas, que puedan ser reproducidas con las máquinas disponibles.

Control total del proceso

Si el proceso de manufactura se conoce a fondo y está controlado, el producto fabricado cumplirá con el nivel de calidad. Los costos asociados con inspección, pruebas, retrabajo y desperdicio se reducirán significativamente.

El término control total del proceso de manufactura está asociado con el trabajo en equipo, ya que el proceso sólo puede mejorarse cualitativamente si: ingenieros, supervisores y trabajadores participan activamente.

Los cinco pasos básicos del control total del proceso de manufactura son :

Primer paso

Lograr una definición clara de los requisitos del producto, para esto es necesario establecer una sólida comunicación entre el proveedor y el cliente. Como cliente debe considerarse a la siguiente operación del proceso, esta comunicación proporcionará un buen conocimiento de que es lo que espera el cliente del producto para continuar con la cadena de la fabricación de la calidad.

Los requerimientos del cliente se deben evaluar cuidadosamente para establecer prioridades en cuanto a variables y atributos, y no juicios arbitrarios que conduzcan al deterioro de la calidad.

La fabricación de variables necesita de un estudio de capacidad del proceso, con el objeto de evaluar si existen procesos capaces de reproducir la especificación. un estudio de capacidad del proceso comprende:

- 1- Permitir que el proceso opere un período de tiempo bajo las condiciones actuales.
- 2- Recopilar los datos de la característica bajo estudio.
- 3- Trazar la gráfica de control \bar{X} y R.

El análisis de la gráfica de control determinará si el proceso está bajo control estadístico. Si es así, calcular el índice de capacidad de proceso (si el índice es de 1.33 o mayor se considera satisfactorio).

Segundo paso

Una vez que se conoce como opera el proceso y la importancia de la característica que se está fabricando, es conveniente que el equipo de mejoramiento del proceso efectúe un análisis del proceso para mejorarlo. Mediante un diagrama de flujo del proceso se observa el curso que siguen los elementos y su interrelación. Los elementos del proceso necesitan estudiarse para determinar cuáles afectan específicamente a la fabricación de la característica. Una de las herramientas útiles para el estudio de los elementos es el diagrama de causa y efecto, facilitando un análisis lógico de las causas y subcausas que afectan a la característica del producto. Una vez que el equipo determina las causas más significativas que afectan la característica. Se puede emplear el diseño de experimentos o el análisis de regresión para estudiar la variación de dos o más elementos, en dos o más niveles.

Registrando el resultado de cada combinación experimental y analizándose estadísticamente para determinar cuáles elementos del proceso tienen un efecto significativo. Por ejemplo: si la característica es la dureza superficial y si el equipo de mejoramiento identificó como posibles causas que contribuyen a la temperatura y el tiempo. Un diseño de experimentos sencillo abarcaría los cuatro ensayos:

- 1- Mayor tiempo y mayor temperatura en el horno.
- 2- Mayor tiempo y menor temperatura en el horno.
- 3- Menor tiempo y mayor temperatura en el horno.
- 4- Menor tiempo y menor temperatura en el horno.

Para cada ensayo se mide la dureza y los datos se analizan para determinar cual de los factores o si ambos afectan a la dureza.

El análisis de regresión es también una herramienta estadística

que ayuda a comprender mejor el proceso. Obteniendo una relación matemática entre las causas y efecto. Las causas son consideradas como variables independientes y el efecto como dependiente.

Cuando se pretenda utilizar estas técnicas para el análisis de las causas se necesita la asesoría de un técnico en estadística.

Tercer paso

El mejoramiento del proceso es el núcleo de cualquier esfuerzo de mejoramiento. El equipo de mejoramiento del proceso integrado por: ingeniería de calidad, ingeniería de diseño, ingeniería de proceso y personal operativo. Con su experiencia y los conocimientos adquiridos en el segundo paso, deben actuar para mejorar el nivel de calidad del proceso y obtener beneficios adicionales. Pero es muy importante que el proceso se mantenga operando a este nivel.

Cuarto paso

El proceso tiene que ser monitoreado a intervalos regulares o continuamente con las gráficas de control. Las gráficas de control muestran al operador cuando el proceso se desvía de su operación normal, para que el operador tome una acción correctiva, pero no le dice como hacerlo. Por lo que, es necesario un manual de acciones correctivas para el control del proceso. Que describa paso a paso que debe hacerse cuando el proceso sea inestable y explique claramente como se determina que el proceso ha sido restablecido. Esta guía será más efectiva si la prepara el equipo, lo cual servirá para aprender más acerca del proceso.

Quinto paso

El mejoramiento del proceso es un reto continuo. El equipo de mejoramiento del proceso deberá ser persistente en el empleo de los cuatro primeros pasos descritos anteriormente, para buscar nuevas oportunidades de mejoramiento que se traducirán en mejor calidad a menor costo.

Diagrama del control total del proceso

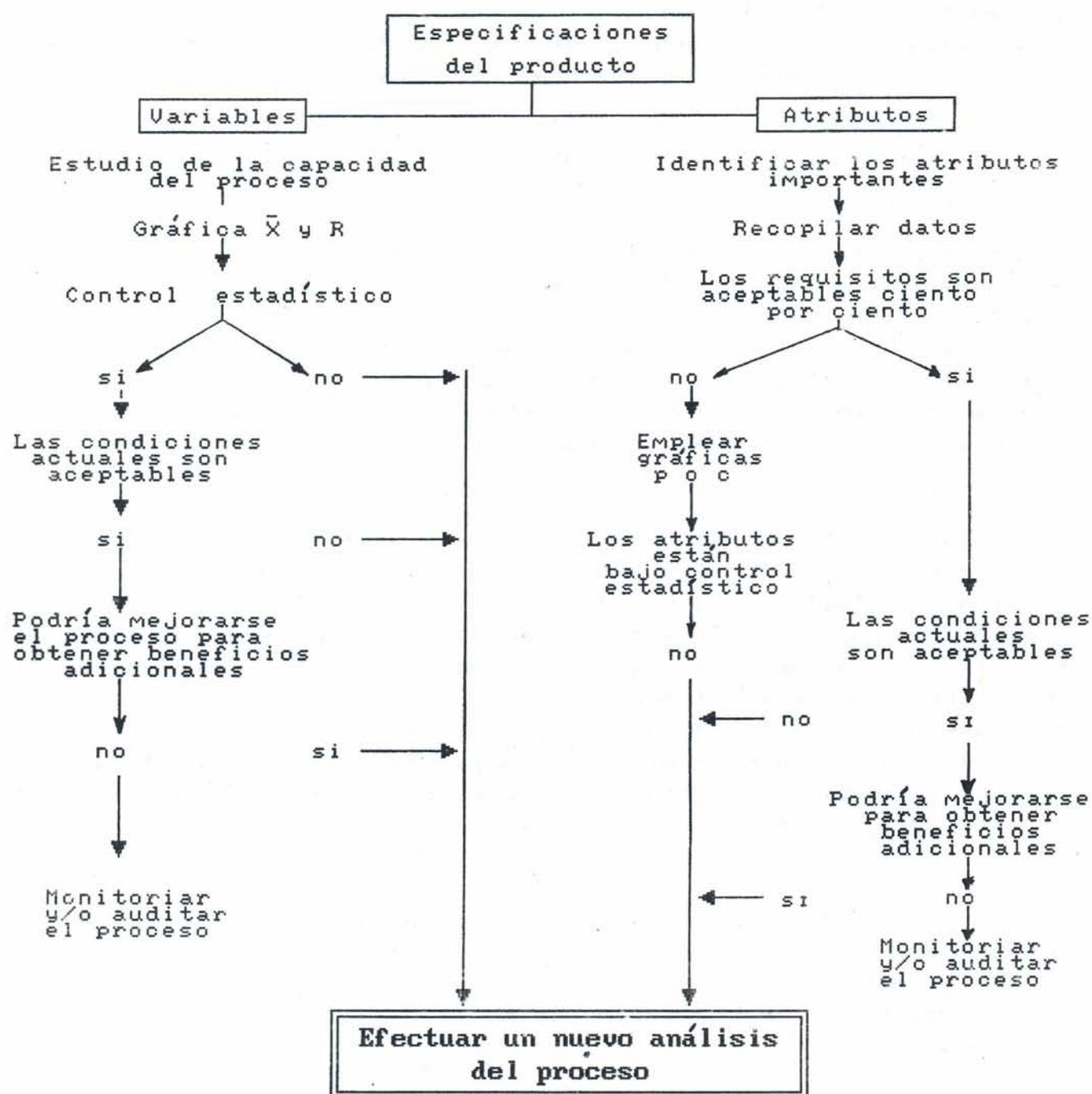


fig.36

Herramientas para el control del proceso

El control total del proceso durante la fabricación es la aplicación de técnicas estadísticas que tienen como finalidad mejorar el nivel de calidad del producto.

Mejorar el nivel de calidad por medio de técnicas estadísticas no es muy fácil, el procedimiento es continuo y dura siempre. Las mejoras son lentas pero acumulativas. Los obreros trabajan menos y producen más, mientras que la calidad aumenta continuamente. El establecimiento de un programa de control total del proceso no es solamente un problema técnico, es también un problema de relaciones humanas. Puesto que una de las fallas mas frecuentes es la resistencia al cambio. Este problema se produce a todos los niveles, puesto que los gerentes no son diferentes a los demás empleados. Sin embargo la persistencia y la integración de la dirección de la empresa al programa, conducirá al éxito.

Los requisitos obligatorios para un programa de control total del proceso son los siguientes:

- 1- Compromiso de la dirección y de la alta gerencia con la política establecida para la calidad.
- 2- Integrar un equipo de mejoramiento de la calidad.
- 3- Capacitación en técnicas estadísticas elementales a todos los niveles.
- 4- Amplio programa de comunicación con el taller.
- 5- Participación efectiva de la dirección.

La falta de comunicación dentro de la empresa ocasiona pérdidas económicas, puesto que el temor a hacer preguntas o a informar sobre problemas es muy grande. Los gerentes y supervisores se olvidan que los trabajadores en su puesto observan todo lo que no marcha bien y conocen muchas formas de corregirlo. La innovación y la creatividad están latentes en la empresa pero se requiere la ayuda

de las personas que conocen lo que esta sucediendo y esto sólo se logra mediante la participación activa de los trabajadores.

Actualmente los métodos estadísticos tienen una amplia aplicación en los procesos industriales. Los beneficios que se obtienen de la aplicación de estos, dependerá de la capacidad que se tenga para poder establecer cual se debe aplicar en determinada situación y saber emplear realmente el método para la solución del problema.

En la producción industrial constantemente hay necesidad de resolver problemas, en los que los sucesos no permanecen constantes de una a otra observación sino que se comportan en forma aleatoria. El número de piezas defectuosas no es el mismo en una partida que en la siguiente. Dos máquinas iguales no producen las mismas dimensiones. Dos aparatos de medición iguales no dan las mismas lecturas. Por lo que se han de tomar decisiones en presencia de un comportamiento variable y una incertidumbre.

El análisis estadístico tiene dos aspectos fundamentales: 1) saber reunir información útil y 2) aplicar la herramienta estadística adecuada para el análisis e interpretación de los resultados.

Herramientas para el análisis de datos

- 1- Hojas de datos.
- 2- Diagrama de Pareto.
- 3- Histograma.
- 4- Gráficas de control.
- 5- Diagrama de causa y efecto.
- 6- Diagrama de dispersión.
- 7- Estratificación.
- 8- Diagrama de flujo del proceso.

Ejemplo No.5

De la línea de producción de bases de bronce para cierto tipo de lámpara se tomó una muestra de 315 bases, con el objeto de evaluar su calidad. Los resultados de la inspección se muestran en la hoja de datos.

Hoja de datos

Producto: base para lampara		Planta : FABRISA
Línea : 6		Fecha : 10-III-89
Tipo de base: 308		Inspector: Joly
Total inspeccionado: 315		Orden: No. 715
Clave	Descripción	Frecuencia
A	Manchas	12
B	Agujero apoyo columna	25
C	Poros	10
D	Opacidad	16
E	Cuerdas barridas	20
F	Golpes	6
G	Taladros abocardados	18
H	Deformaciones	8

Hojas de datos

Existen diferentes tipos de hojas de datos, algunos objetivos de las hojas de datos son: control de defectos, localización de defectos, causas de defectos, verificación de pruebas, etcétera. Para la elaboración de hojas de datos hay que tomar en cuenta las recomendaciones siguientes:

- 1- La palabra estadística comprende datos. Los datos reflejan hechos. El control depende de los datos, y una forma de obtener datos correctos es organizándolos desde su recopilación.
- 2- El propósito de las hojas de datos es facilitar:
la recopilación, uso y análisis general de los datos.

3- Es necesario registrar toda la información relacionada con los datos: fecha, instrumento de medición, número de parte, persona que lo hizo, método empleado, etcétera.

La hoja de datos del ejemplo muestra varios defectos que están afectando a la calidad del producto. Lo importante ahora es determinar cuales tienen mayor relevancia con el diagrama de Pareto.

Hoja de datos de la distribución de Pareto

Clave	Defecto	frecuencia	porcentaje	porcentaje acumulado
B	Agujero apoyo columna	25	21.8	21.8
E	Cuerdas barridas	20	17.3	39.1
G	Taladros abocardados	18	15.6	54.7
D	Opacidad	16	14.0	68.7
A	Manchas	12	10.4	79.1
C	Poros	10	8.6	87.7
H	Deformaciones	8	7.0	94.7
F	Golpes	6	5.3	100.0

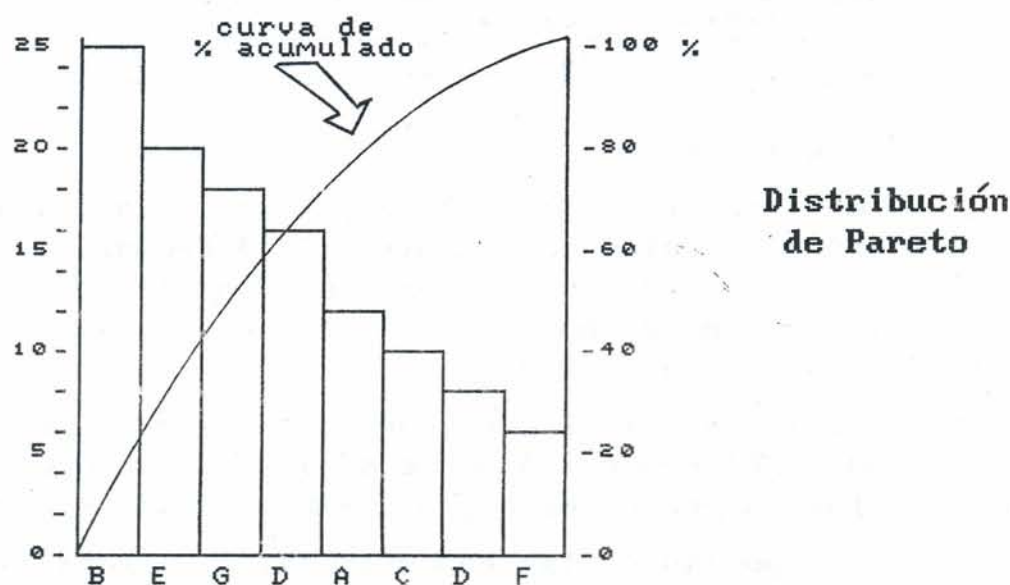


fig.37

Distribución de Pareto

Los problemas de la calidad por resolver, requieren de una herramienta que permita darles un orden de importancia. Ya que no es posible atender todo al mismo tiempo, sino que es necesario establecer prioridades.

En este sentido los problemas se pueden dividir en dos grupos: vitales y triviales. Los primeros son los que ponen en riesgo la calidad del producto dado que paulatinamente la degradan. Los triviales afectan también a la calidad pero no la ponen en riesgo (al menos en el corto plazo). Esto no quiere decir que no sean importantes, sino que pueden ser solucionados a mediano plazo.

Con la distribución de Pareto se busca maximizar el beneficio de los esfuerzos correctivos, para eliminar aquellos problemas que más afectan a la calidad.

La distribución de Pareto es una gráfica de barras que clasifica en forma descendente los factores o elementos que intervienen en un problema. La clasificación se realiza de acuerdo a la frecuencia (número de veces que se repite), costo o importancia absoluta y relativa. También presenta en forma acumulada la incidencia de los elementos bajo estudio.

La distribución facilita la separación de los elementos de mayor importancia de los de menor importancia (vitales y triviales), lo que permite orientar las acciones correctivas en los vitales.

La distribución de Pareto del ejemplo fig.37 muestra que el 54 % de las fallas de calidad de las bases de bronce se deben a los defectos B, E y G. Clasificandose estos como vitales, en tanto que el resto como triviales.

El análisis del defecto B (agujero apoyo columna) se decidió realizarlo con un histograma de frecuencias.

Hoja de datos para el histograma

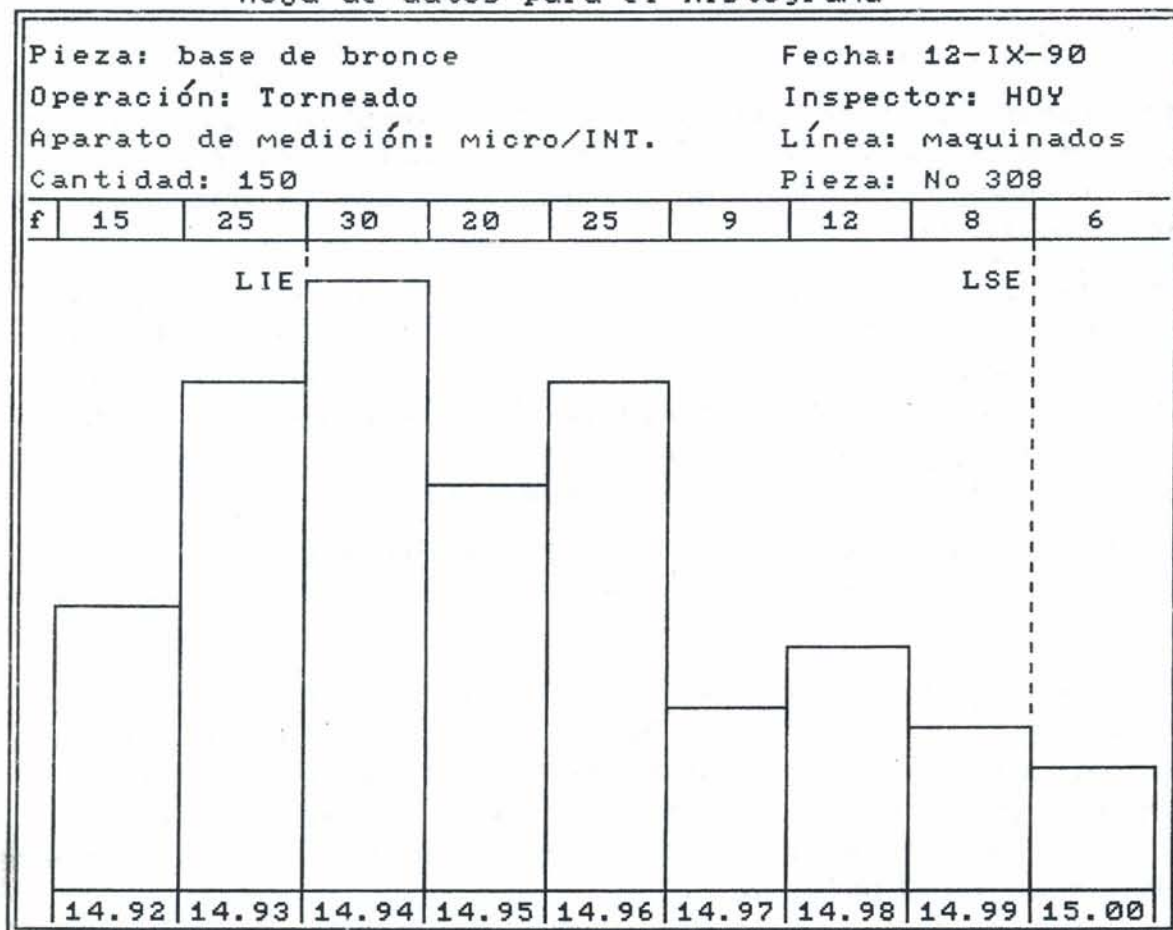


fig.38

Histograma de frecuencias

Es una gráfica que organiza los datos de acuerdo a su valor y frecuencia. El histograma indica la forma de la distribución, la dispersión, localización de la media respecto a los límites de especificación y si se cumple la dispersión permitida.

De la hoja de datos para el histograma se pueden obtener las conclusiones siguientes: 1) la dispersión del proceso de fabricación del agujero apoyo columna es mayor que la permitida por las especificaciones, 2) el histograma no es simétrico, 3) como el histograma no es simétrico el proceso de fabricación tiene variabilidad

anormal y 4) el centro del proceso tiende hacia el límite inferior de la especificación.

Supongase que el equipo de mejoramiento del proceso atacó el problema y controló estadísticamente el proceso (por medio de una gráfica de control \bar{X} y R), fabricando dentro de los límites especificados. Pero como el agujero presentaba un ovalamiento, el equipo de mejoramiento del proceso decidió atacar ese problema.

Mediante una sesión de tormenta de ideas se generó un diagrama de causa y efecto (fig. 38), que se conoce además por otros nombres como diagrama de espinas de pescado o diagrama de Ishikawa.

Diagrama de causa y efecto

Es uno de los mejores métodos para organizar todas las causas conocidas de variación. Desarrollado por Kaoru Ishikawa, el diagrama divide las causas en categorías generales como: métodos, material, máquina, mano de obra, y las organiza para indicar las relaciones entre el efecto y sus causas.

Cada una de las categorías generales se analiza para determinar las causas que influyen. Si el diagrama es muy complejo, significa que las personas que participaron en la elaboración tienen un mayor conocimiento del problema.

El diagrama es el punto de partida que permite hacer un análisis detallado, evaluando causa por causa, hasta encontrar las que sean responsables del efecto que se desea controlar.

Pasos para la construcción del diagrama de causa y efecto

- 1- Tratar de definir el efecto lo más preciso posible.
- 2- Determinar el mayor número de factores que puedan tener influencia en el efecto. Cualquier número de factores es permisible, generalmente se emplean tres o cuatro que pertenecen a las 4m's (mano de obra, método, máquina y material).
- 3- El diagrama de causa y efecto se traza en una sesión de tormenta de ideas. La tormenta de ideas es una técnica que emplea un

Diagrama de causa y efecto

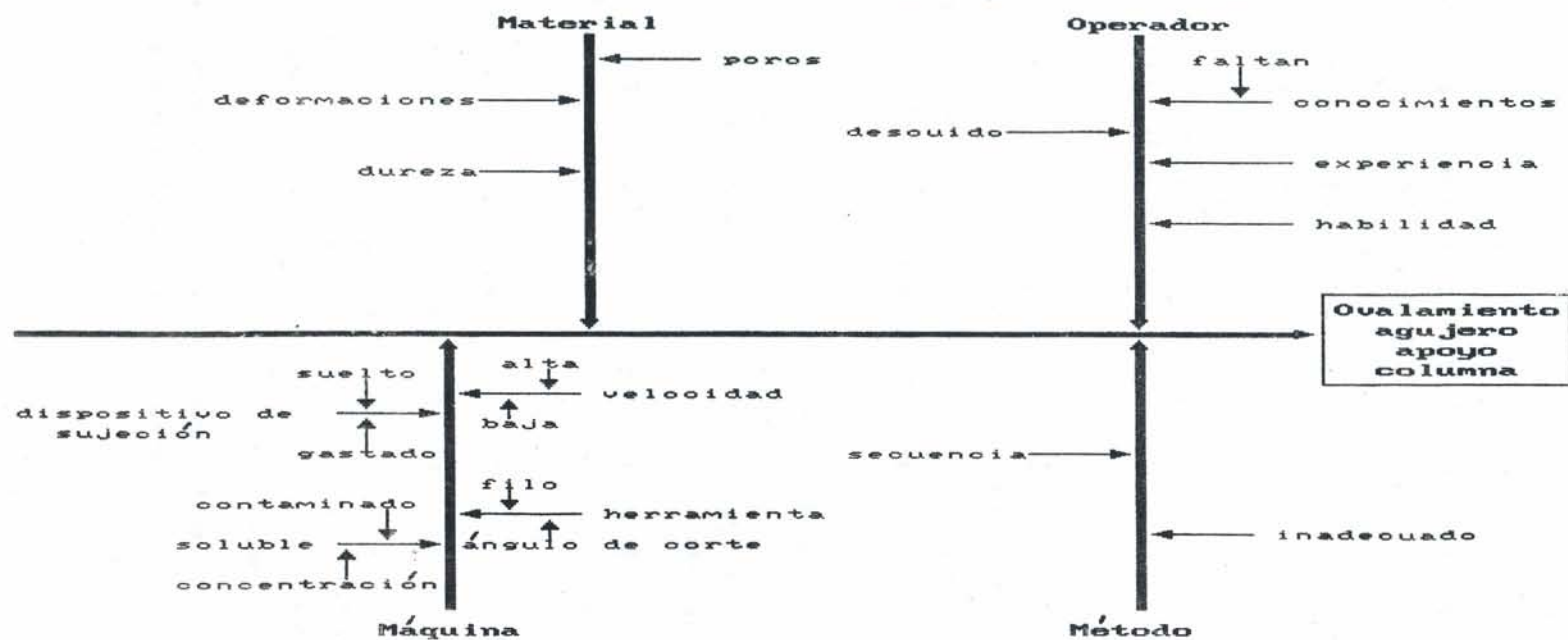


fig.38

grupo de gentes, desarrollando la fuerza de su pensamiento colectivamente para crear ideas, investigar causas, seleccionar problemas.

4- La tormenta de ideas es más efectiva cuando se siguen las reglas siguientes:

- a) A cada participante se le preguntan sus ideas.
- b) Cada participante expresa una idea por turno, sin importar cuantas más tenga en mente.
- c) Si el participante no tiene una idea cuando le toque su turno, con decir "paso" es suficiente.
- d) Ninguna idea debe considerarse como insensata. La crítica de ideas, corta la creatividad de la sesión.
- e) Se requiere de un clima de informalidad y compañerismo para facilitar la participación.
- f) El conductor de la sesión debe concretar las ideas largas en pocas palabras, pero el generador de la idea debe aprobarlo.
- g) Durante la tormenta de ideas no deben evaluarse las ideas sugeridas. No se permiten comentarios positivos o negativos.
- h) Si se considera necesario, el diagrama de causa y efecto puede someterse a un periodo de incubación durante el cual pueden surgir nuevas ideas que se agregan al diagrama.
- i) El diagrama se considera terminado cuando se han agotado las ideas.
- j) Cada una de las causas se analiza críticamente y cada participante puede discutir si está a favor o en contra de la causa. El conductor recopila solo los votos favorables.
- k) Las causas que reciban más votos se encierran en un círculo. Fijando de esta manera la atención a las causas importantes, evitando la confusión con el resto.

5- Una vez determinadas las causas mas dominantes que generan el problema, se establece un programa de actividades con el fin de eliminarlas y controlarlas.

El diagrama de causa y efecto es una herramienta creativa y activa que estimula a los participantes dandoles oportunidad de exponer sus puntos de vista y de ser tomados en cuenta.

El diagrama de causa y efecto al igual que el de Pareto pueden aplicarse a una amplia variedad de problemas y no solo a los de la calidad. La idea fundamental es realizar un buen trabajo en equipo para indicar con claridad las causas que son la raíz del efecto y posteriormente aplicar las acciones correctivas necesarias.

De la observación del diagrama de causa y efecto del ejemplo, se desprendio la hipótesis de: cuál será la relación entre la concentración del soluble y el desgaste de la herramienta ?. Se empleo un diagrama de dispersión para verificar la hipótesis, en la fig. 39 se observa claramente que el aumento de la concentración del soluble (variable x) produce disminución en el desgaste de la herramienta (variable y).

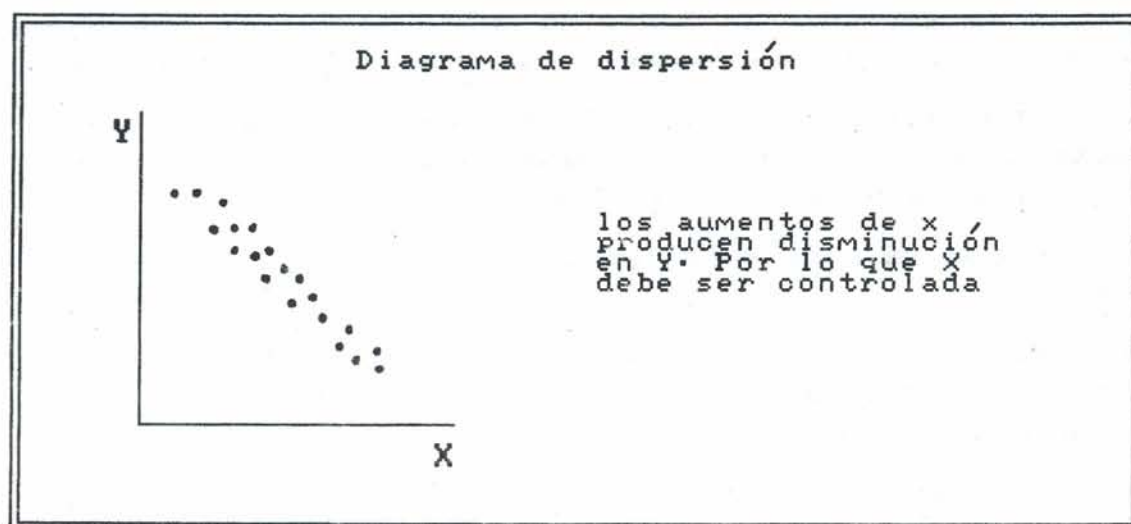


fig.39

Diagrama de dispersión

Se emplea para la verificación de la hipótesis del comportamiento entre si de algunas variables. Es decir, si el comportamiento de unas variables influye en el comportamiento de otras variables y en qué grado.

Cuando se habla de relación entre dos variables se está hablando de: 1) entre causa y efecto, 2) entre causa y causa, 3) entre causa y dos causas. Como: iluminación y errores de inspección, humedad en la materia prima y humedad en el producto intermedio, temperatura y dureza, velocidad de corte y dimensión, etcétera.

Elaboración del diagrama

- 1- Recopilar los datos cuya relación se desea investigar (50 a - 100 pares de datos)
- 2- Dibujar dos ejes uno vertical y otro horizontal del mismo tamaño para facilitar la interpretación del diagrama. Si se trata de la relación causa y efecto, los valores de la causa se colocan en el eje horizontal y los valores del efecto en el eje vertical.
- 3- Trazar los datos en la gráfica, si hay valores repetidos colocar círculos concéntricos, uno por cada punto. Si existen muchos puntos con valores repetidos elaborar un tabla de frecuencias.
- 4- Cuantificación de la relación entre las dos variables por medio del índice de correlación. La variación del índice de correlación es entre 0 y 1. Uno indica correlación perfecta y cero correlación nula.

Correlación no necesariamente significa casualidad, sino que ambas variables pudieron haber tenido tendencias similares, sin que una explique a la otra. Por lo tanto, para la interpretación también hay que aplicar el sentido común.

Interpretación del diagrama de dispersión

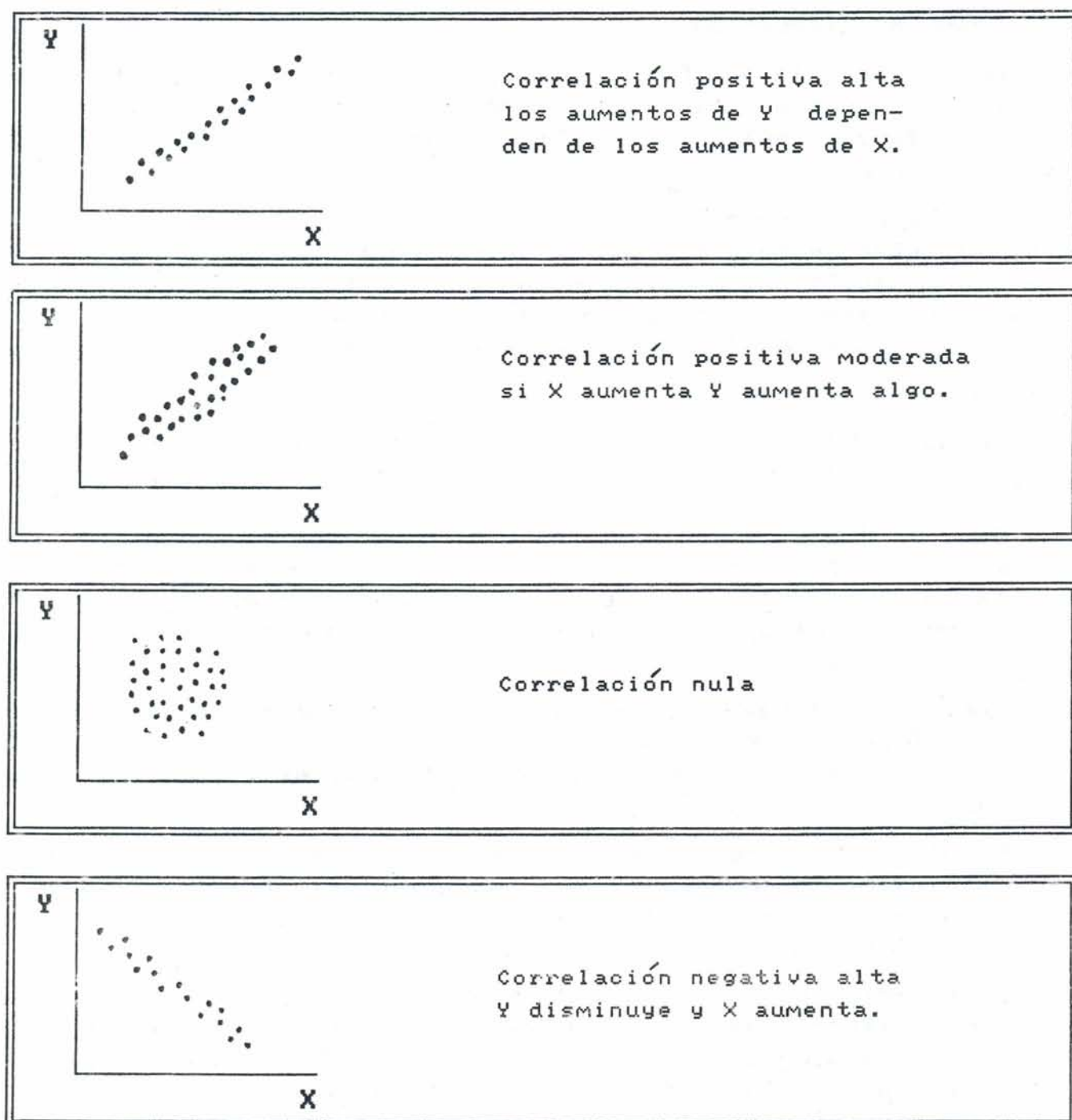


fig.40

Estratificación

Es un análisis que se emplea para investigación de ciertos aspectos de los defectos, como localización. Para investigación de más detalles de las causas. Los datos se clasifican en grupos con características semejantes. A cada grupo se le llama estrato. Los estratos permiten identificar el grado de influencia de los factores en un proceso. Los estratos pueden ser: máquinas, operarios, turnos, días de la semana, etcétera.

Ejemplo No.6

En cierto producto de baquelita se detectaron varios defectos. Con el objeto de investigar el factor de mayor influencia, se realizó un estudio durante una semana con estratificación.

Defectos

Máquina	Operario	Turno matutino	Turno Vespertino	Total
1	A	10	32	42
2	B	30	45	75
3	C	17	17	34
4	D	22	21	43
	Total	79	115	194

Conclusiones:

- a) La máquina 2 produce más defectos.
- b) Los operadores de la máquina 2 producen más defectos.
- c) El operador B del turno vespertino es el que produce más defectos.

Diagrama de flujo del proceso

Describe la secuencia que siguen: los materiales, operaciones, procedimientos y pruebas de un proceso. La cual es muy importante conocer a fondo a fin de mejorar continuamente el proceso.

Los símbolos de uso más frecuente en estos diagramas son:

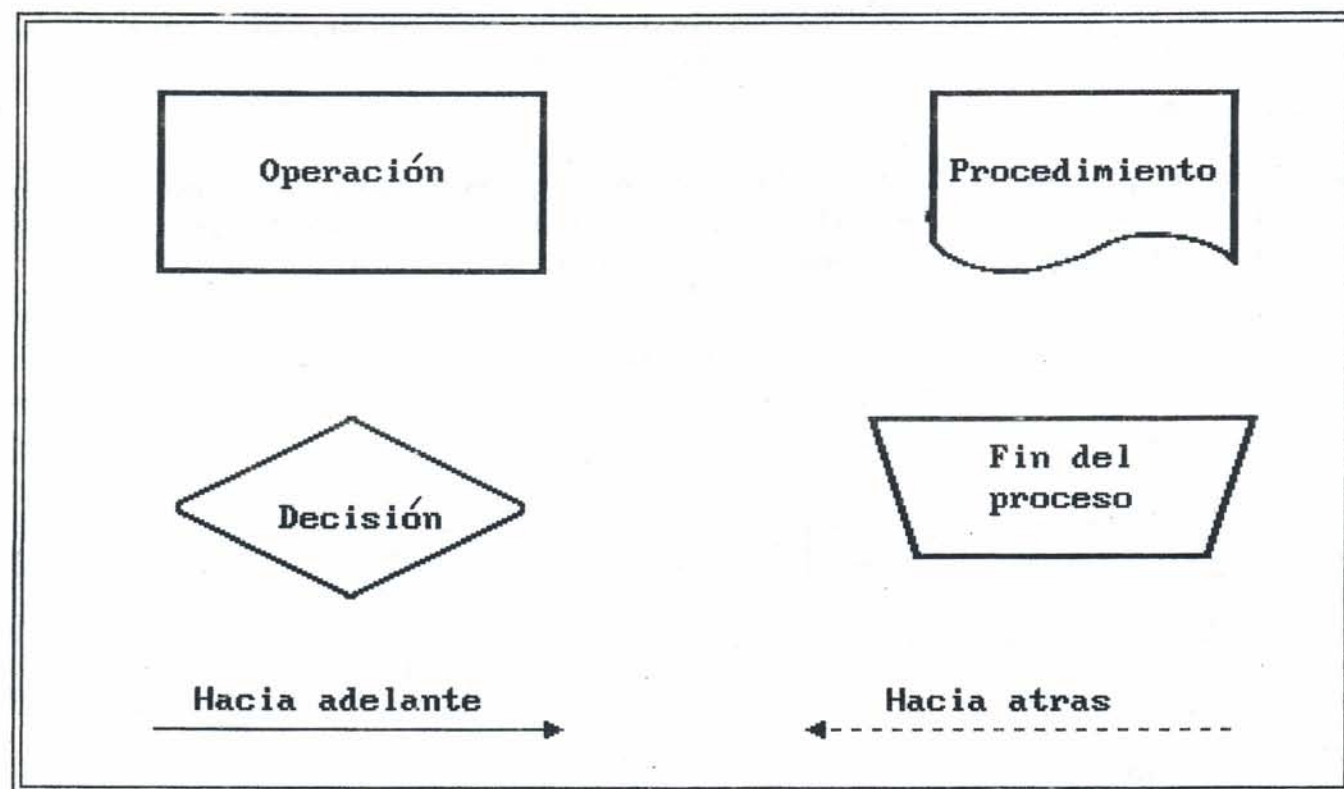
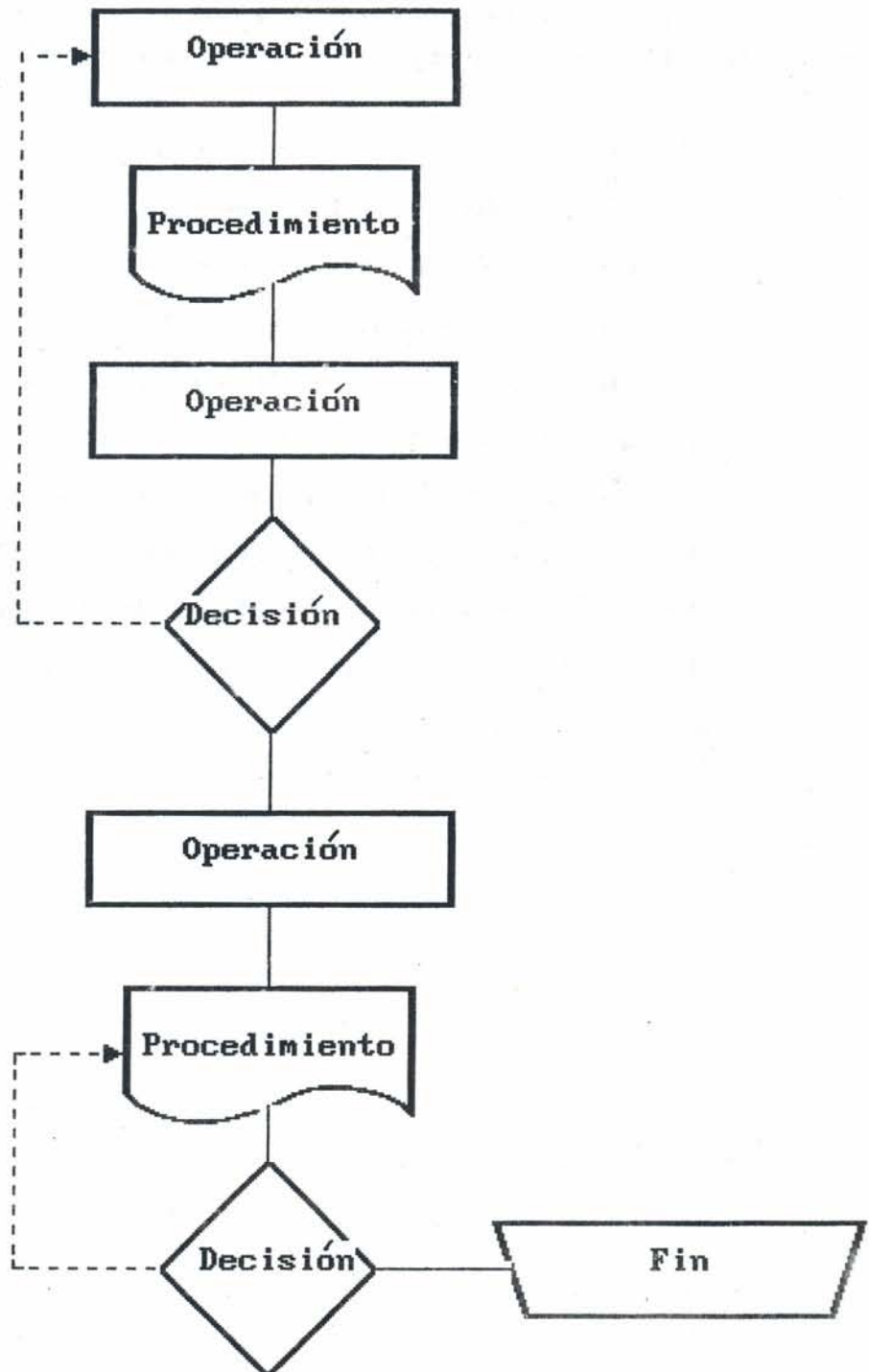


fig.41

La elaboración y análisis del diagrama de flujo del proceso requiere de plantearse preguntas como las siguientes:

- 1- Qué documento controla esta operación ? .
- 2- El método para la operación es adecuado ? .
- 3- Qué tipos de fallas tienen los materiales ? .
- 4- Qué capacitación ha recibido el operador ? .
- 5- Los aparatos de medición son los adecuados ?.
- 6- Qué documento controla los aparatos de medición ? .
- 7- Qué procedimiento controla las pruebas ? .
- 8- La secuencia del método de fabricación es correcta? .
- 9- Quién realiza el control de la operación ? .
- 10- De dónde proviene el material para esta operación ? .
- 11- Etcétera.

Diagrama de flujo



Grafica de control p

En muchos procesos industriales hay problemas importantes donde las características del producto son atributos, es decir, se clasifica al producto como bueno o defectuoso según los resultados de la inspección visual, táctil o por calibres de esas características. En la inspección por atributos una pieza es defectuosa cuando no es satisfactoria cualitativamente, puede ser una pieza con un solo defecto o una pieza con varios defectos. Las piezas pueden tener características medibles y se pueden clasificar como atributos empleando un calibre pasa no pasa.

La gráfica p muestra las variaciones del porcentaje defectuoso del producto y el porcentaje defectuoso promedio del proceso. El concepto porcentaje defectuoso, es muy familiar en el campo industrial de fácil comprensión para supervisores y trabajadores.

Aplicaciones

- 1- Para determinar el porcentaje defectuoso promedio fabricado en un período de tiempo.
- 2- Para atraer la atención en los cambios de nivel de calidad.
- 3- Para obtener un mejor trabajo de los operarios.
- 4- Para el estudio de defectos individuales o defectos por grupos.

Terminología

- n : Tamaño de la muestra o lote.
- p : Porcentaje defectuoso en el lote o muestra.
- \bar{p} : Porcentaje defectuoso promedio del proceso.
- σ_p : Desviación estándar del proceso.
- LSC : Límite superior de control.
- LIC : Límite inferior de control.

Teoría de la gráfica p

La gráfica p se emplea para determinar si el producto viene de una población que tiene p' (porcentaje defectuoso). Aunque el producto ya está terminado, de todas maneras constituye un control del proceso. Porque los defectos encontrados se retroalimentan y en consecuencia el proceso se puede corregir y evitar los defectos en productos subsecuentes.

En la inspección por atributos las unidades inspeccionadas se aceptan o se rechazan. La distribución del número de defectuosos o la fracción defectuosa en una muestra, sigue el patrón binomial. La distribución binomial se aproxima a la distribución normal cuando la muestra es muy grande o la probabilidad es de 0.5.

Gráfica np (número de defectuosos)

Línea central = $n\bar{p}$

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{n\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Límite superior de control = $\bar{p} + 3\sigma_p$

Límite inferior de control = $\bar{p} - 3\sigma_p$

$$\bar{p} = \frac{\text{total de defectuosos en todos los lotes}}{\text{total inspeccionado}}$$

p = Número de defectuosos en cada lote o muestra

Gráfica de porcentaje defectuoso

- 1- Obtener por lo menos 20 muestras de tamaño (n). Cuando en la producción diaria se tiene establecida la inspección ciento por ciento se recomienda tomar como lote toda la producción. Cuando la producción por día es mayor de 500 unidades y no se tiene establecida la inspección ciento por ciento, muestras azar de por lo menos 100 unidades pueden proporcionar información valiosa.
- 2- Inspeccionar la muestra o lote y contar el número de unidades defectuosas.
- 3- Calcular el porcentaje defectuoso de la muestra o lote.

$$p = \frac{\text{numero de unidades defectuosas}}{\text{tamaño del lote o muestra}} \times 100$$

- 4- Calcular el porcentaje defectuoso promedio:

$$\bar{p} = \frac{\text{total de unidades defectuosas}}{\text{total de unidades inspeccionadas}} \times 100$$

n: Tamaño del lote o muestra

- 5- Calcular la desviación estándar del proceso.

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p} (100 - \bar{p})}{n}}$$

- 6- Calcular los límites de control:

$$LSC = \bar{p} + 3\sigma_p$$

$$LIC = \bar{p} - 3\sigma_p$$

Nota: Si el límite superior de control resulta negativo se registra como cero.

Ejemplo No. 2

Cierto proceso de ensamble está siendo controlado por una gráfica p. Diariamente se toma una muestra de 200 ensambles y los resultados de la inspección se indican en la tabla. Trazar la gráfica p y determinar si el proceso está bajo control.

Fecha	Número de defectuosos
2-I-89	26
3-I-89	27
4-I-89	66
5-I-89	31
6-I-89	25
9-I-89	34
10-I-89	34
11-I-89	70
12-I-89	33
13-I-89	37
16-I-89	35
17-I-89	68
18-I-89	33
19-I-89	28
20-I-89	65
23-I-89	26
24-I-89	35
25-I-89	24
26-I-89	23
27-I-89	23
30-I-89	19
31-I-89	21
1-II-89	30
2-II-89	34
3-II-89	33

Lote No.	Porcentaje defectuoso
1	13.00
2	13.50
3	33.00
4	15.50
5	12.50
6	17.00
7	17.00
8	35.00
9	16.50
10	18.50
11	17.50
12	34.00
13	16.50
14	14.00
15	32.50
16	13.00
17	17.50
18	12.00
19	11.50
20	11.50
21	9.50
22	10.50
23	15.00
24	17.00
25	16.50

Nota: Ver software del apéndice

Gráfica porcentaje defectuoso

Lsc = 25.676

Lc = 17.600

Lic = 9.522

Total de piezas inspeccionadas = 5000

Total de piezas defectuosas = 880

Desviación estándar = 2.6928

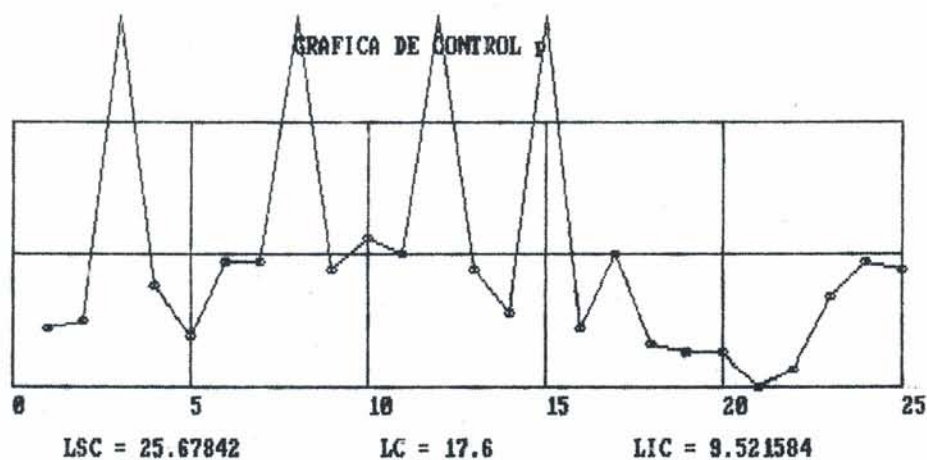


fig. 43

Lotes que exceden el límite superior de control

El lote No. 3 tiene 66 defectuosos

El lote No. 8 tiene 70 defectuosos

El lote No. 12 tiene 68 defectuosos

El lote No. 15 tiene 65 defectuosos

Lotes que exceden el límite inferior de control

El lote No. 21 tiene 19 defectuosos

El propósito de la gráfica p es controlar el proceso, para realizar esto es necesario investigar los puntos que se encuentran fuera de los límites de control. De manera que se puedan prevenir las causas de mala calidad e implantar de forma permanente las causas de buena calidad. Por lo cual, es necesario investigar la raíz de las causas que deterioran la calidad y aplicar acciones correctivas, también es necesario buscar las causas que mejoran la calidad (puntos fuera del límite inferior de control) e implantarlas en forma permanente para beneficio de la calidad.

Análisis de la gráfica p

- 1-Determinar las causas que deterioran la calidad.
- 2-Buscar la raíz de las causas y aplicar acciones correctivas.
- 3-Investigar la raíz de las causas que mejoran la calidad e implantarlas en forma permanente.
- 4-Una vez aplicadas las acciones correctivas, eliminar los puntos que se salieron de los límites de control y calcular nuevos límites para los puntos restantes y trazarlos en la misma gráfica.
- 5-Analizar la gráfica con la teoría de la aleatoriedad de una serie de datos. El análisis de carreras y tendencias es muy útil. Una carrera o tendencia es una sucesión de elementos de la misma clase. Por ejemplo una sucesión de puntos arriba de la LC se considera como perteneciente a una clase y una sucesión de puntos abajo de la LC como perteneciente a otra clase. De manera que se habla de corridas arriba y abajo de la LC. Una sucesión de puntos aumentando de valor es una tendencia ascendente y una sucesión de puntos disminuyendo de valor es una tendencia descendente.

Las tablas N1 y N2 del apéndice dan el número total de corridas puramente aleatorias con probabilidades de 0.005 y 0.05. La tabla P los valores límite para la longitud de carreras a ambos lados de la mediana y la tabla Q los valores límite para la longitud de tendencias arriba y abajo de la mediana.

Análisis de la grafica p

La gráfica p se analiza de dos formas: 1) Análisis de datos pasados y 2) Análisis sobre la marcha.

Análisis de datos pasados

Cuando se establece por primera vez la gráfica p, para hacer el análisis es necesario esperar la recopilación de todos los datos. El análisis se efectúa con la prueba de aleatoriedad de carreras arriba y abajo de la línea central, tendencias hacia arriba y hacia abajo, carrera más grande arriba y abajo de la mediana, y tendencia más grande arriba y abajo de la mediana. También como alternativa a la gráfica p se puede efectuar una prueba de homogeneidad de un conjunto de porcentajes.

Análisis sobre la marcha

En los períodos siguientes al establecimiento de la gráfica, el análisis se realiza sobre la marcha. Es decir, cada punto que excede los límites de control es analizado y se aplican las acciones correctivas necesarias.

Al finalizar el período si se tiene duda sobre la aleatoriedad de los puntos de la grafica, se puede efectuar un análisis de datos pasados y de esta manera confirmar si el proceso está bajo control

El análisis de datos pasados para el ejemplo No 7 se indica en la página siguiente.

Análisis de datos pasados de la gráfica p

Para el análisis se utilizará la teoría de las corridas en datos aleatorios. El análisis se limitará a dos clases: por encima y por debajo del promedio, aumentos y disminuciones. Empleándose las tablas N1, N2, P y Q que son resultado de la investigación de la distribución del número de corridas y de la longitud de corridas de distintos tipos.

Pasos para el análisis de aleatoriedad

1- En la figura 43 se observa lo siguiente:

Puntos fuera del LSC

Día	Número de defectuosos	Número de piezas
4-I-89	66	200
11-I-89	70	200
17-I-89	68	200
20-I-89	65	200
Total	269	800

Rastreando que fué lo que ocurrió estos días que incremento el número de defectuosos, se encontró que ciertos dispositivos de ensamble estaban en condiciones inadecuadas para su uso. Reparándose y estableciendo un mantenimiento preventivo para mantenerlos en condiciones óptimas. La acción correctiva realizada eliminó el problema. Por lo que es necesario revisar los límites de control de la siguiente forma:

$$\bar{p} = \frac{800 - 269}{5000 - 800} \times 100 = 14.547 \%$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{14.547(100-14.547)}{200}} = 2.493$$

Gráfica de porcentaje defectuoso

Lsc = 22.027

Lc = 14.547

Lic = 7.068

Total de piezas inspeccionadas = 4200

Total de piezas defectuosas = 611

Desviación estándar = 2.4931

Grafica de control p

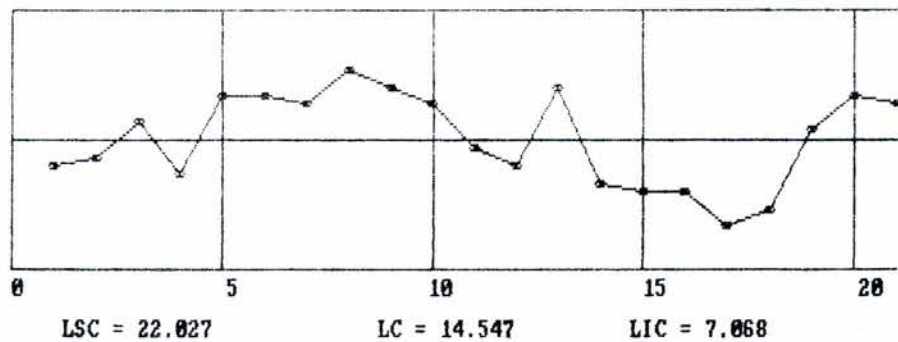


fig. 44

$$LSC = 14.547 + (3 \times 2.493) = 22.027\%$$

$$LIC = 14.547 - (3 \times 2.493) = 7.068 \%$$

Estos límites revisados se trazan en la misma gráfica, figura 44 y el análisis de aleatoriedad de las carreras se efectúa de la siguiente manera:

1- Total de Carreras arriba y abajo de la LC.

Total de puntos arriba de la LC = 11

(No se consideran los puntos que se eliminaron en la revisión de los límites de control).

Total de puntos abajo de la LC = 10

(Al número mayor se le denomina s y al número menor r, por lo que: s=11 Y r=10).

Longitud de las carreras arriba de la LC.

No Puntos	Total
1	2
3	1
6	1
Total	4

Longitud de las carreras abajo de la LC.

No Puntos	Total
1	1
2	2
5	1
Total	4

Total de carreras arriba y abajo de la LC = 4 + 4 = 8

Gráfica porcentaje defectuoso

Lsc = 22.027

Lc = 14.547

Lic = 7.068

Total de piezas inspeccionadas = 4200

Total de piezas defectuosas = 611

Desviación estándar = 2.4931

Gráfica de control p

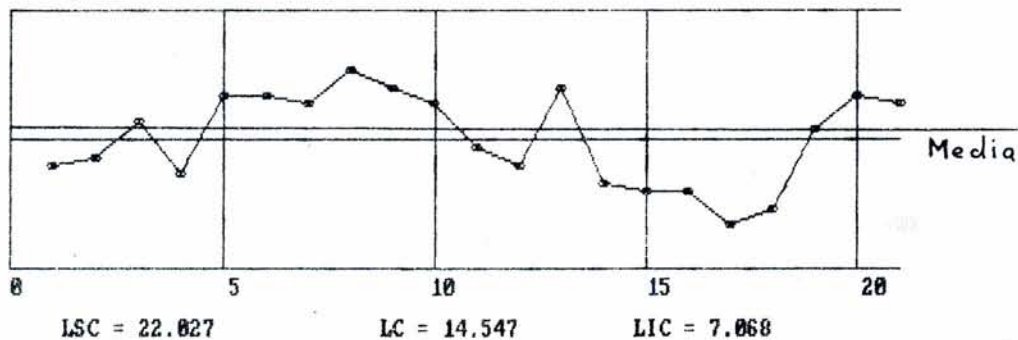


fig. 45

De la tabla N1 para $s=11$ y $r=10$ se obtiene el valor límite de 5 y de la tabla N2 el valor límite de 7. Si el total de corridas es menor que los valores de las tablas N1 y N2, la probabilidad de que sea producto de un proceso aleatorio es menor que 0.005 y 0.05. Como ambos valores son menores que 8 se dice que hay evidencia de aleatoriedad.

2- Tendencias hacia arriba y hacia abajo.

Total de aumentos = 8

Total de disminuciones = 10

Longitud de las tendencias hacia arriba

Puntos	Número
1	3
2	1
3	1
Total	5

Longitud de las tendencias hacia abajo

Puntos	Número
1	4
2	1
4	1
Total	6

Nota: Los puntos alineados no indican cambio.

Total de tendencias hacia arriba y hacia abajo = $5 + 6 = 11$

De la tabla N1 para $s=10$ y $r=8$ el valor límite es 4 y de la tabla N2 el valor límite es 6. Como los números límite 4 y 6 son menores que 11, se acepta la hipótesis de evidencia de aleatoriedad.

3- Cálculo de la mediana de los 21 valores

9.5, 10.5, 11.5, 11.5, 12, 12.5, 13, 13, 13.5, 14, 15,
15.5, 16.5, 16.5, 17, 17, 17, 17.5, 17.5 y 18.5

El valor de la mediana es 15 % y se traza en la gráfica fig.45. La carrera más larga arriba o abajo de la mediana = 6 puntos.

De la tabla P con $n=20$ se obtienen los valores límite 7, 8 y 9. Como el valor obtenido seis es menor que los valores límite. Se concluye que no hay evidencia de influencias no aleatorias.

Nota: cuando existan puntos (en valor) exactamente igual a la mediana, uno o más de estos puntos se pueden asignar al lado de la mediana que tenga menor número de puntos, de modo que se tenga el mismo número de puntos de cada lado de la mediana. La distribución de los puntos se hace, en la medida que sea posible, de tal forma que las carreras cortas aumenten de longitud en lugar de que lo hagan las carreras largas. Si el número de puntos es impar uno de ellos puede ser ignorado.

4- La tendencia más grande hacia arriba o hacia abajo es de cuatro puntos.

De la tabla Q con $n=20$ se obtienen los valores límite 7 y 5. Como la tendencia de la gráfica de cuatro puntos, es menor que los valores límite 7 y 5, aceptándose la hipótesis de que no hay evidencia de influencias no aleatorias. Determinando que el proceso es estable.

Para el siguiente período se establecen los límites de control de la gráfica p con los valores siguientes:

$$LSC = 22.027 \%$$

$$LC = 14.547 \%$$

$$LIC = 7.068 \%$$

Gráfica porcentaje defectuoso

LSC = 22.027 %

LC = 14.547 %

LIC = 7.068 %

Total de piezas inspeccionadas = 5000

Total de piezas defectuosas = 684

Desviación estándar = 2.4931

Gráfica de control p

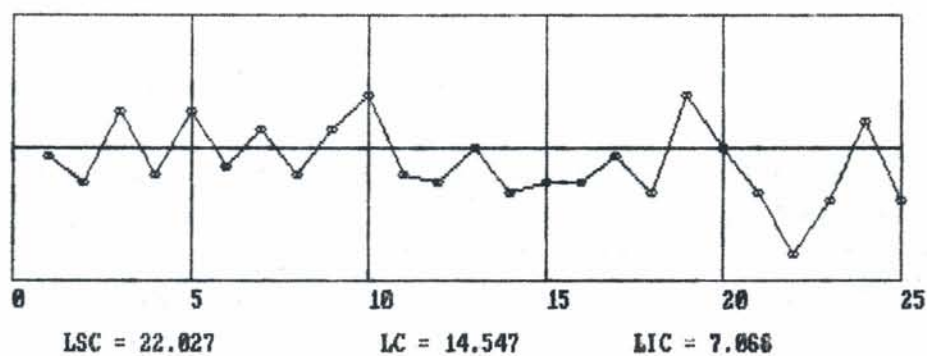


fig. 46

Para el siguiente período comprendido entre el 6-II-89 y el 10-III-89 la tabla muestra los resultados de la inspección de los 200 ensambles por día. Trazar la gráfica de control y determinar si el proceso sigue bajo control estadístico.

Fecha	Número de defectuosos
6-II-89	38
7-II-89	25
8-II-89	33
9-II-89	26
10-II-89	33
13-II-89	27
14-II-89	31
15-II-89	26
16-II-89	31
17-II-89	35
20-II-89	26
21-II-89	25
22-II-89	29
23-II-89	24
24-II-89	25
27-II-89	25
28-II-89	28
1-III-89	24
2-III-89	35
3-III-89	29
6-III-89	24
7-III-89	17
8-III-89	23
9-III-89	32
10-III-89	23

Para este período el análisis de la gráfica p se efectúa sobre la marcha, esto significa que cada punto que sale fuera de los límites de control o está demasiado cerca de los mismos, se analiza para determinar que causas generaron el suceso. Aplicando las acciones correctivas necesarias para evitar el deterioro de la calidad. La gráfica de la figura 46 a simple vista no indica proceso fuera de control. Sin embargo se efectuó una prueba de homogeneidad de porcentajes, obteniéndose el resultado siguiente:

Como el Chi-cuadrado crítico 47.89 es mayor que el estadístico de los porcentajes 23.69 se concluye, que los porcentajes si proceden de la misma población. Es decir, el proceso está bajo control.

Se realizó una prueba de hipótesis a los datos del periodo 6-II-89 al 3-III-89, para ver si la fracción defectuosa observada durante ese período 0.1388 puede explicarse como una variación al azar de un proceso que tiene establecida su media en 0.1458. Agrupando todos los datos del período en un solo lote, su tamaño es de 5000. El límite inferior de control correspondiente a un lote de este tamaño y una $p' = 0.1454$ es:

$$\text{Fracción defectuosa en el lote} = 694 / 5000 = 0.1388$$

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{0.1388(1 - 0.1388)}{5000}} = 0.00488$$

$$\text{Límite inferior de control} = 0.1454 - (3 \times 0.00488) = 0.1307$$

Es evidente que la fracción defectuosa del lote no rebasa el límite inferior de control. Por lo tanto no debe modificarse el centro del proceso para el próximo período.

De acuerdo con este resultado los límites de control de la gráfica para el próximo período serán:

$$\text{LSC} = 22.027 \%$$

$$\text{LC} = 14.54 \%$$

$$\text{LIC} = 7.068 \%$$

Que prueba utilizar para el análisis de aleatoriedad ?.

Cada una de las pruebas es sensible a diferentes tipos de modelos no aleatorios. En otras palabras, una secuencia de observaciones puede no ser al azar en muchas formas. Algunas de ellas son más fáciles de descubrir, utilizando la prueba de corridas arriba y abajo de la línea central, otras con las tendencias hacia arriba y hacia abajo, algunas con la carrera más larga arriba y abajo de la mediana, etcétera. Por lo cual, si se aplican todas las pruebas a una secuencia de observaciones e indican que la secuencia no es al azar, no existe conflicto para aceptar la evidencia de no aleatoriedad.

La prueba de homogeneidad de los porcentajes es complementaria al análisis de aleatoriedad. Se emplea para confirmar la estabilidad del proceso.

La prueba de hipótesis de la proporción defectuosa se utiliza para confirmar si el centro actual del proceso, es producto de la variación al azar y de esta forma determinar si el proceso está en condiciones de modificar su centro para el próximo período.

Gráfica p (lote variable)

Los procesos de fabricación con volumen de producción variable, presentan un problema en el cálculo de los límites de control de la gráfica, ya que la formula para el cálculo de la desviación estándar incluye a n, aún cuando p sea constante (o se suponga constante). Dado que n aparece en el cálculo de la desviación estándar, a medida que n crece, la desviación estándar disminuye. Por lo tanto se hace necesario calcular límites de control para cada valor de n.

$$p = \frac{\text{total de piezas defectuosas encontradas}}{\text{total de piezas inspeccionadas}}$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(100 - \bar{p})}{n}}$$

$$LSC = \bar{p} + 3 \sigma_p$$

$$LIC = \bar{p} - 3 \sigma_p$$

Cuando la variabilidad entre lotes no es muy grande, se puede calcular el tamaño de lote promedio y si la variación de los lotes se mantiene dentro del $\pm 20\%$ del tamaño del lote promedio. Se pueden emplear límites de control únicos, calculando la desviación estándar con el lote promedio.

Ejemplo No. 8

Cierto producto que pasa por una estación de control de inspección ciento por ciento, se esta controlando por medio de una gráfica p y los resultados de la inspección se muestran en la tabla.

Fecha	Tamaño del lote	No.de piezas defectuosas
13-II-89	531	25
14	1393	62
15	1422	61
16	1500	73
17	1250	46
20	2000	58
21	685	28
22	2385	89
23	2150	89
24	2150	58
27	2147	115
28	2549	115
1-III-89	2331	75
2	2009	81
3	2198	86
6	2271	67
7	1948	41
8	2150	77
9	1700	49
10	2214	68
13	2394	82
14	1197	56
15	850	27
16	848	30
17	850	33

Debido a la variabilidad de los lotes se trazará una gráfica de límites de control individuales.

Lote No.	Cantidad	% Defectuoso	LSC	LIC
1	531	4.71	6.13	1.23
2	1393	4.45	5.19	2.17
3	1422	4.29	5.18	2.18
4	1500	4.87	5.14	2.22
5	1250	3.68	5.28	2.08
6	2000	2.90	4.94	2.42
7	685	4.09	5.84	1.52
8	2385	3.73	4.84	2.52
9	2150	4.14	4.90	2.46
10	2150	2.70	4.90	2.46
11	2147	5.36	4.90	2.46
12	2549	4.51	4.80	2.56
13	2331	3.22	4.85	2.51
14	2009	4.03	4.94	2.42
15	2198	3.91	4.89	2.48
16	2271	2.95	4.87	2.50
17	1948	2.10	4.96	2.40
18	2150	3.58	4.90	2.46
19	1700	2.88	5.05	2.31
20	2214	3.07	4.88	2.48
21	2394	3.43	4.84	2.53
22	1197	4.68	5.31	2.05
23	850	3.18	5.62	1.74
24	948	3.16	5.52	1.85
25	850	3.88	5.62	1.74

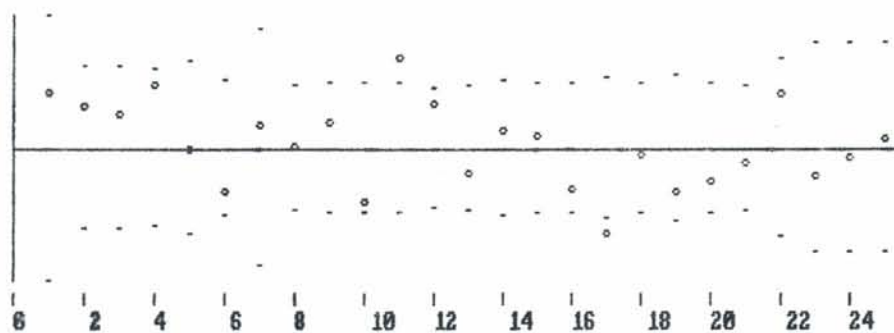


fig. 47

Total de piezas inspeccionadas 43122

Total de piezas defectuosas 1591

% promedio defectuoso del proceso 3.69

Nota: Ver software del apéndice

Resumen gráfica p

La gráfica p se emplea para el control de unidades defectuosas. Una unidad defectuosa es aquella que tiene uno o más defectos y estas imperfecciones ocasionan el fallo del producto, para satisfacer los requisitos de uso.

Esta gráfica ha demostrado su efectividad para el control de calidad durante la fabricación, se emplean dos tipos: 1) tamaño de lote o muestra constante y 2) tamaño de lote o muestra variable.

Tamaño de lote constante

Se fundamenta en la comparación de los porcentajes defectuosos de los lotes, con los límites de control calculados, a partir de una serie de muestras de tamaño constante. Que se seleccionan periódicamente del proceso de producción.

Tamaño de lote variable

Cuando en las estaciones de control se realiza inspección ciento por ciento, como parte de la rutina del proceso. El tamaño del lote será el de la producción total y, por lo tanto, será diferente de un período a otro. Estableciéndose la gráfica de control de límites individuales.

Si un punto queda fuera del límite superior de control, indica una calidad pobre, debe encontrarse y corregirse la causa perturbadora. Un punto fuera del límite inferior de control, representa una producción muy buena y poco usual. Es natural desear que dicha producción se mantenga; por lo tanto, debe buscarse la causa para implantarla de forma permanente y de esta manera se pueda mejorar el proceso. También ambos puntos pueden indicar inspección poco cuidadosa, circunstancia que también debe corregirse.

Al final de cada período la gráfica debe evaluarse, para determinar si es capaz el proceso de aceptar un porcentaje promedio defectuoso menor y calcular los nuevos límites de control para el siguiente período. Y de esta manera ir mejorando continuamente la calidad del producto.

Gráfica c

La gráfica de control de defectos por unidad se emplea cuando los productos que se fabrican son complejos, teóricamente pueden presentar numerosos defectos. Al inspeccionar un automovil por ejemplo se puede generar un número muy grande de defectos de diferentes tipos. Defectos en el sistema eléctrico, en el sistema de combustible, en la pintura, en las vestiduras, en el motor, etcétera. En este caso no se puede clasificar fácilmente un automovil como bueno o defectuoso. La razón es que la observación de un automovil perfecto es muy improbable. Otros ejemplos de productos similares son las telas, televisiones, etcétera. El fundamento estadístico de esta gráfica es la distribución de Poisson; se aplica cuando la probabilidad de observación de un defecto es pequeña, en comparación con el número total de defectos que teóricamente pueden presentarse. En un automovil el número de defectos diferentes que pueden presentarse es muy grande, en comparación con el número que realmente se presenta.

Límites de control para la gráfica c

Número promedio de defectos (\bar{c}):

$$\bar{c} = \frac{\text{numero total de defectos de todas las unidades}}{\text{total de unidades}}$$

Número de defectos de cada unidad (c)

Desviación estándar (σ_c): $\sigma_c = \sqrt{\bar{c}}$

$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{c} + 3\sigma_c \\ \text{LIC} &= \bar{c} - 3\sigma_c \\ \text{LC} &= \bar{c} \end{aligned}$
--

Ejemplo No.9

Cierto producto terminado está siendo controlado con una gráfica c. El número de defectos por unidad de producto se indica en la tabla. Trazar la gráfica de control.

Unidad No.	Defectos
1	11
2	13
3	4
4	10
5	10
6	9
7	14
8	7
9	7
10	4
11	3
12	11
13	7
14	9
15	7
16	7
17	11
18	5
19	6
20	9
21	8
22	7
23	9
24	4
25	7

LSC = 16

LC = 7

LIC = 0

Total de unidades = 25

Total de defectos = 199

Desviación estándar = 2

Gráfica de control c

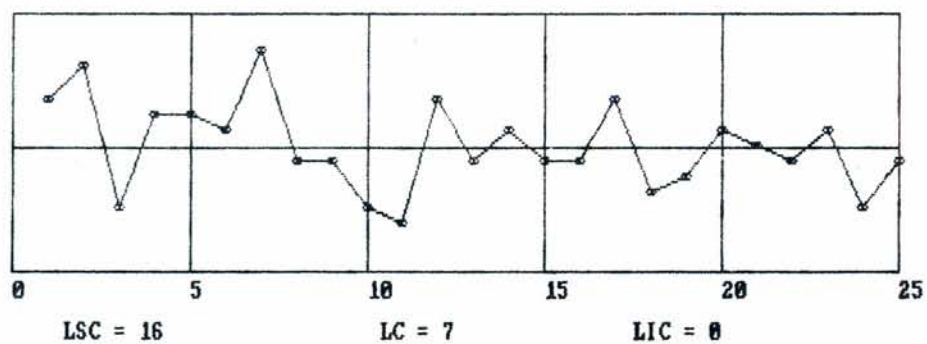


fig. 48

Análisis gráfica c

La gráfica c se analiza de forma similar a la gráfica p.

- 1- Los puntos arriba del límite superior de control pueden indicar dos cosas: a) que el nivel de calidad del proceso se deterioró, o b) que el inspector cambio su criterio de inspección.
- 2- Los puntos abajo del límite inferior de control pueden indicar dos cosas: a) que el nivel de calidad del proceso mejoro, o b) que el inspector cambio su criterio de inspección.

Los puntos dentro de los límites de control deben analizarse con la teoría de las corridas en datos aleatorios.

- 3- Los puntos arriba o abajo de los límites de control primero deben analizarse para evaluar si no hubo cambio en el criterio de inspección. Si no existe cambio en el criterio de inspección, entonces investigar las causas que deterioran la calidad para corregirlas y en el caso contrario investigar las causas que mejoran la calidad, para implantarlas de forma permanente

El cambio de criterio en la inspección se debe principalmente a:

- 1- El tiempo, la temperatura y la tranquilidad en el trabajo tienen influencia en el desempeño del inspector.
- 2- Inspectores expertos fallan igual que los otros.
- 3- El desempeño del inspector empieza a ser peor con la complejidad del producto.
- 4- Algunos inspectores tienen hábitos de desviación para cierto tipo de defectos.
- 5- La importancia de los defectos establecida por el inspector influye en su desempeño.
- 6- Los inspectores se presionan unos a otros para la cantidad de rechazo.

Pre-control

En los años recientes la gráfica de control \bar{X} y R ha resurgido con el control estadístico del proceso.

Cuando la gráfica de control \bar{X} y R es aplicada adecuadamente es una herramienta muy efectiva para el control del proceso. La gráfica tiene algunas desventajas al nivel de aplicación, requiere de recopilación de datos, cálculos, trazo de la gráfica y capacitación. En la fabricación de volúmenes pequeños de producción la fabricación termina antes de que puedan ser calculados los límites de la gráfica. Estos problemas han ocasionado que muchos gerentes concluyan que la gráfica \bar{X} y R no es aplicable en sus procesos de manufactura. un sustituto de la gráfica \bar{X} y R es el pre-control que para propósitos de control del proceso, funciona muy bien y a veces mejor que la gráfica.

Una de las ventajas más importantes del pre-control es que, como no requiere de recopilación de datos, ni cálculos, ni trazo de gráficas. El operador lo puede realizar y esto aumenta su interés por la calidad.

La idea general del precontrol es dividir la amplitud de la tolerancia en cuatro zonas con un ancho igual a $1/4$ de la tolerancia cada una (figura 49). Llamando límites de precaución a los que marcan la zona que se encuentra a uno y a otro lado del centro de la especificación. La zona delimitada por estas líneas (zona central) es la mitad del total de la tolerancia, con una area bajo la curva normal de 86 % aproximadamente, para simplificar se le llama zona verde. A cada lado de la zona verde aparece una zona amarilla, las cuales tienen una amplitud igual a $1/4$ de la tolerancia cada una, con una area bajo la curva normal de aproximadamente 7 %. Al lado de las zonas amarillas está la zona roja, la cual se extiende más alla de los límites de especificación. El propósito de los colores es hacer que el procedimiento del pre-control sea simple y directo.

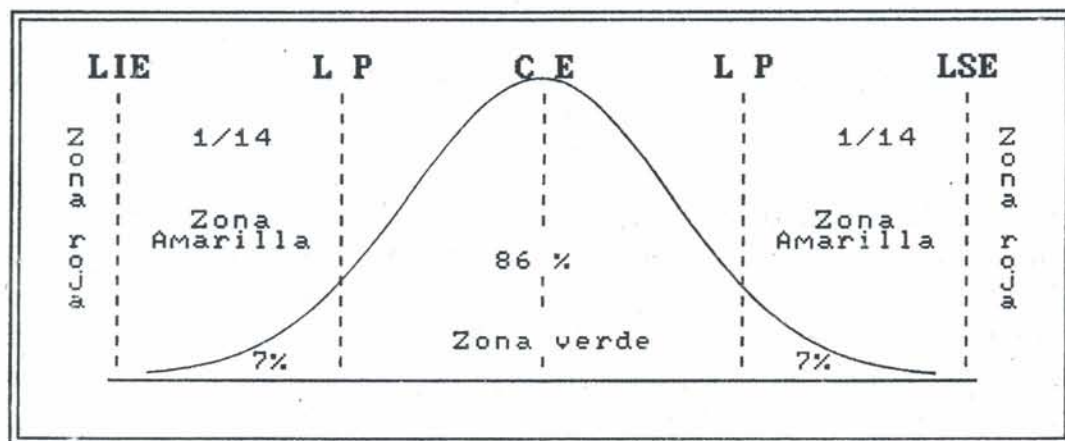


fig.49

Fundamento estadístico

1- Si la capacidad natural del proceso es igual al intervalo de la tolerancia y el proceso sigue una distribución normal, centrado en la especificación; aproximadamente una pieza en 14 (fig.49) caerá en alguna de las zonas amarillas.

2- Si un producto medido está en la zona amarilla y el segundo sucesivo medido también cae en la misma zona amarilla, debe corregirse el proceso puesto que sólo hay una probabilidad de $1/196$ de que dos piezas sucesivas caigan en la misma zona amarilla $1/14 \times 1/14$ si el proceso no ha sufrido cambios.

3- Si el segundo producto medido cae en la zona amarilla opuesta, esto indicará que la variabilidad del proceso se ha incrementado.

Dos puntos sucesivos en las zonas amarillas requieren de un ajuste al proceso. Obviamente cualquier punto en la zona roja requiere de una acción correctiva.

Si el proceso no está centrado en la especificación, aunque tenga una dispersión menor que la amplitud de la tolerancia, la probabilidad de obtener dos mediciones sucesivas en la zona amarilla será más grande.

La técnica del pre-control es un método estadístico de control de de calidad, puede ser llevado por el mismo operario que debe saber ajustar su máquina para mantener su producción dentro de especificaciones.

Antes de iniciar la fabricación se requiere lo siguiente:

- 1- Definir el método de manufactura.
- 2- Capacitar al operario.
- 3- La máquina, herramientas y dispositivos de fabricación adecuados.
- 4- Definir el método de medición.
- 5- El centro del proceso debe coincidir o estar lo más cerca posible del centro de la especificación.
- 6- La capacidad del proceso debe ser igual a 0.88 de la amplitud de la tolerancia ($C_p=1.5$ aproximadamente). Esto es resultado de la práctica, ya que si la capacidad del proceso es igual a la amplitud de la tolerancia, puede requerir demasiados ajustes.

Método del pre-control

- 1- La preparación de la máquina se considerará adecuada para la fabricación, cuando cinco piezas sucesivas caigan en la zona verde, si tres de estas piezas caen en la zona verde y la cuarta está fuera, debe empezarse nuevamente la cuenta. Puesto que la regla marca cinco piezas sucesivas.
- 2- Tomar una de cada cinco piezas fabricadas (frecuencia de inspección).
- 3- Medir la pieza y si cae en la zona verde, continuar con la frecuencia de inspección.
- 4- Si la pieza medida cae en la zona amarilla, medir la siguiente pieza fabricada, si cae en la zona verde continuar con la frecuencia de inspección.

- Si la segunda pieza medida cae en la misma zona amarilla, indica cambio del centro del proceso, ajustar y regresar al punto 1.
 - Si la segunda pieza medida cae en la zona amarilla opuesta, indica aumento de la variabilidad del proceso, ajustar el proceso y regresar al punto 1.
- 5-Si cualquiera de las dos piezas medidas cae en la zona roja, corregir el proceso y regresar al punto 1.

Frecuencia de inspección

Se puede iniciar con una frecuencia de inspección de una en cinco, es decir, inspeccionar la ultima pieza de cada cinco fabricadas. Esta frecuencia de inspección es variable y cambia según las necesidades del proceso.

Cambio en la frecuencia de inspección

El cambio se determina considerando el número de piezas fabricado entre dos ajustes dividido entre 25, ejemplo: si el operador lleva realizadas 50 inspecciones y sólo ha realizado un ajuste al proceso, quiere decir que el operador lleva fabricadas $50 \times 5 = 250$ piezas y $250/25 = 10$, lo cual indica, que la frecuencia de inspección cambia a una de cada 10 piezas fabricadas.

Si antes de 15 piezas inspeccionadas es necesario ajustar el proceso, se debe cambiar la frecuencia de inspección a una de cada tres. Si el ajuste al proceso ocurre poco antes o poco después de 25 piezas inspeccionadas, la frecuencia de inspección no cambiará.

Ventajas

- * Se trabaja directamente con los límites de especificación.
- * Puede emplearse en volúmenes pequeños de producción.
- * Puede emplearse con calibres pasa no pasa.
- * Requiere de una simple explicación para su aplicación.

Representación gráfica del pre-control para una tolerancia de ± 0.06

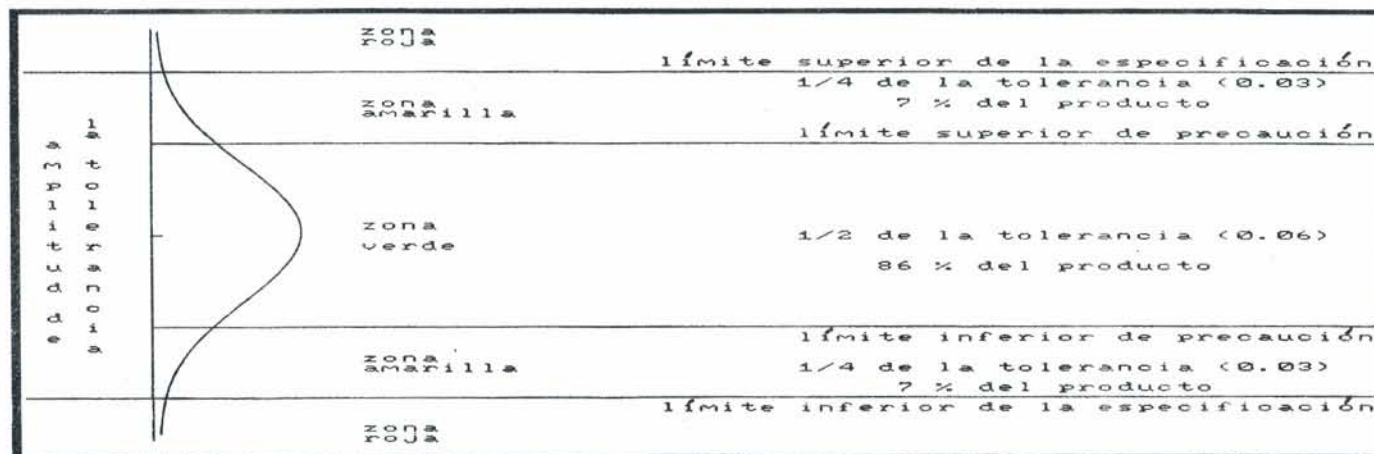


fig.50

La calidad aumenta

Cultivando tres cosas:

la normalización, la metrología y la calidad total.

Buscando tres cosas:

costo, funcionalidad y durabilidad.

Amando tres cosas:

la capacitación, la cooperación y la comunicación.

Defendiendo tres cosas:

la creatividad, la perseverancia y la participación.

Reconociendo tres cosas:

el talento, la honestidad y la humildad.

Excluyendo tres cosas:

la ignorancia, el miedo y la humillación.

Combatiendo tres cosas:

la irresponsabilidad, la corrupción y la pereza mental.

Conservando tres cosas:

el prestigio, el orgullo y el servicio.

Avisos

Trabaja por el agrado de alcanzar calidad, no por el deber de fabricarla.

La calidad de hoy borra la calidad de ayer.

Bien predica calidad quien bien la fabrica.

La empresa de calidad siempre está mejorando la calidad.

Dejar de mejorar la calidad día con día se llama rutina.

Sabemos lo que el director de la empresa piensa de la calidad, no cuando nos cuenta lo que piensa, sino a través de sus acciones.

No hay que confundir nunca el trabajo con la calidad. El primero sirve para ganarnos la vida; la calidad para tener orgullo.

Al cabo de los años el producto de calidad, se convierte en biografía de la empresa.

La calidad es el lenguaje universal de la productividad.

La calidad se mejora hasta que el proceso es mejorado.

Para fabricar calidad hay que dirigir con calidad.

Quien no conozca a fondo lo que está haciendo difícilmente puede contribuir a la calidad del producto.

El mayor error que puede cometer el director de una empresa es sacrificar la calidad por cualquier otra ganancia.

Si respetas la importancia de la calidad ésta probablemente te devolverá el favor.

No debe negarsele a ningún elemento de la organización la igualdad de derechos a causa de los problemas de la calidad.

Cuando los trabajadores deciden fabricar calidad suelen imitarse unos a otros.

La calidad debe incrementarse al mismo ritmo que la cantidad de producción.

La calidad no es sino sueño, hasta que se ponen a prueba sus efectos.

La calidad es el resultado del trabajo en equipo y los errores u omisiones de alguien. Lesionan la armónica existencia del equipo.

Lo irritable de la calidad es que se trata de un crimen que requiere de cómplices.

Hablar de calidad debe ser reiterativo. Calidad, calidad, calidad hasta que se refleje en el producto final.

"La única carrera que no tiene línea de meta, es la de la calidad"

"El precio se olvida la calidad jamás"

La calidad es una especie de espejo, en el cual los que se miran ven generalmente la calidad que otros hacen, menos la propia.

Instrucciones para el empleo del software

1- Colocar el disco en la computadora y cargarlo.

2- En la pantalla aparece:

Menu principal

- 1- Gráfica \bar{X} y R.
- 2- Gráfica p (lote fijo).
- 3- Gráfica p (lote variable).
- 4- Gráfica c.
- 5- Pruebas gráficas p y c.
- 6- Centro del proceso más económico.
- 7- Juego máximo y mínimo esperado.
- 8- Indices de capacidad de proceso.
- 9- Sistema.

3- Seleccionar el número deseado.

Software gráfica X y R

Tiene las limitaciones siguientes:

- 1) Número máximo de muestras 30.
- 2) Tamaños de muestra 4 y 5.

Calcula los límites de control, traza las gráficas y determina los promedios y rangos fuera de los límites de control.

En la pantalla aparece:

Necesito los datos siguientes:

Número de muestras ?.

Tamaño de la muestra ?.

Los datos de cada una de las muestras ?.

Enseguida en la pantalla aparecen:

- Tabla de promedios y rangos de cada muestra.
- Valores de los límites de control.
- Gráfica de promedios con las zonas A, B y C.
- Gráfica de rangos.

Las gráficas tienen secciones 0, 5, 10, 15, etcétera que indican el número de puntos de la gráfica.

Si la gráfica X tiene puntos fuera de los límites de control proporciona el número de muestra y el promedio.

Si la gráfica de rangos tiene puntos fuera de los límites de control proporciona el número de muestra y el rango.

Programa gráfica p (lote fijo)

Calcula los límites control, traza la gráfica y determina el número de puntos fuera de los límites de control.

La computadora solicita:

Necesito los datos siguientes:

Número de lotes o días ?.

Tamaño del lote ? .

Número de defectuosos de cada lote ?.

Con estos datos en la pantalla aparece la información siguiente:

Gráfica % defectuoso

LSC =

LC =

LIC =

Total de defectuosos =

Desviación estándar =

A continuación aparece la gráfica de control, dividida en secciones marcadas 0, 5, 10, 15, etc. que indican el número de puntos de la gráfica, en la parte inferior se muestran los valores de los límites de control y la línea central.

Si la gráfica tiene puntos fuera de los límites de control proporciona el número de lote y su cantidad de defectuosos.

Nota: El número máximo de lotes que puede graficar es de 30.

Programa gráfica p (lote variable)

Calcula los límites de control individuales y traza la gráfica.

En la pantalla aparece:

Necesito los datos siguientes:

Número de lotes ?.

Tamaño del lote No. y número de defectuosos ?.

A continuación aparece la gráfica de control.

Nota: El número máximo de lotes que puede graficar es de 30.

Programa gráfica c

Calcula los límites de control, traza la gráfica y determina el número de puntos fuera de los límites de control.

La computadora solicita:

Número de unidades inspeccionadas ?.

Número de defectos de cada unidad ?.

Con estos datos en la pantalla aparece la información siguiente:

Número de unidades =

Total de defectos =

Desviación estándar =

LSC =

LC =

LIC =

Enseguida muestra la gráfica de control, dividida en secciones marcadas 0, 5, 10, 15, etcétera que indican el número de puntos de la gráfica. En la parte inferior se muestran los valores de los límites de control y la línea central.

Si la gráfica tiene puntos fuera de los límites de control proporciona el número de unidad y la cantidad de defectos.

Nota: El número máximo de unidades que puede graficar es de 30

Programa para pruebas de las gráficas p y c

Tiene 3 opciones:

- 1- Prueba de homogeneidad de los porcentajes de la gráfica p.
- 2- Prueba de homogeneidad de los defectos por unidad de la gráfica c.
- 3- Prueba para modificar el porcentaje promedio defectuoso del proceso controlado con una gráfica p.

En la opción 1 la computadora solicita:

Número de lotes ?.

Tamaño del lote ?.

Número de defectuosos de cada lote ?.

El análisis de los datos puede generar alguna de estas dos ... respuestas:

Como el chi-cuadrado crítico _____ es mayor que el estadístico de los porcentajes _____ se concluye que los porcentajes defectuosos de las muestras son producto de la variabilidad aleatoria.

Como el chicuadrado crítico _____ es menor que el estadístico de los porcentajes _____ se concluye que los porcentajes defectuosos de las muestras no son producto de variabilidad aleatoria.

En la opción 2 la computadora solicita:

Número de unidades ?.

Número de defectos de cada unidad ?.

El análisis de los datos puede generar alguna de estas dos... respuestas:

Como el chi-cuadrado crítico _____ es mayor que el estadístico de los defectos _____ se concluye que los defectos de las unidades son producto de la variabilidad aleatoria.

Como el chi-cuadrado crítico _____ es menor que el estadístico de los defectos _____ se concluye que los defectos de las unidades no son producto de la variabilidad aleatoria.

En la opción 3 la computadora solicita:

Total inspeccionado ?.

Total de defectuosos ?.

Fracción defectuosa de la línea central ?.

El análisis de los datos genera alguna de estas dos ... respuestas:

Como el porcentaje defectuoso del lote _____ no rebasa el límite inferior de control _____ el centro del proceso no debe modificarse para el próximo periodo de la gráfica.

Como el porcentaje defectuoso del lote _____ se encuentra alejado _____ desviaciones estándar del límite inferior de control, es recomendable modificar el centro del proceso para el próximo periodo de la gráfica.

Programa índices de capacidad de proceso

Tiene dos opciones: 1) calcula los índices: C_p ; C_{pk} ; C_{pi} ; C_{ps} .
y 2) calculo del C_{pm} .

En la opción 1 la computadora pide la información siguiente:

Límite superior de la especificación ?.

Límite inferior de la especificación ?.

Media del proceso ?.

Desviación estándar del proceso ?.

A continuación en la pantalla aparece la información siguiente:

C_p =

C_{pk} =

C_{pi} =

C_{ps} =

Para la opción 2 en la pantalla aparece la información siguiente:

El índice C_{pm} se recomienda cuando el centro del proceso difiere del centro de la especificación.

A continuación la computadora pide la información siguiente:

Número de datos ?.

Límite superior de la especificación ?.

Límite inferior de la especificación ?.

Valor de cada dato ?.

En seguida en la pantalla aparece la información siguiente:

Varianza =

Desviación estándar =

Indice de capacidad del proceso Cpm =

Programa juego máximo y mínimo esperado para un ensamble no líneal

Calcula el juego máximo y mínimo esperado de un ensamble no líneal y a partir de la especificación para el juego, determina el porcentaje de ensambles que no cumplen con el juego especificado.

La computadora solicita:

Agujero:

Media de la distribución ?

Desviación estándar de la distribución ?.

Arbol:

Media de la distribución ?.

Desviación estándar de la distribución ?.

Ensamble:

Juego máximo permitido ?.

Juego mínimo permitido ?.

En la pantalla aparece la información siguiente:

Media de la distribución de los juegos =

Desviación estándar de los juegos =

Límite natural superior de los juegos =

Límite natural inferior de los juegos =

El juego máximo del ensamble se localiza a ____ desviaciones estándar de la media.

% de ensambles que no cumplen con el juego máximo especificado =

El juego mínimo del ensamble se localiza a ____ desviaciones estándar de la media.

% de ensambles que no cumplen con el juego mínimo especificado =

Apendice de tablas

Tabla 1 - Valores de las constantes para la gráfica \bar{X} y R.

Tabla 2 - Valores de la constante d_2 .

Tabla N1 - Para probar la aleatoriedad de la agrupación en una secuencia de alternativas.

Tabla N2 - Para probar la aleatoriedad de la agrupación en una secuencia de alternativas.

Tabla P - Valores límites para las longitudes de las carreras en ambos lados de la mediana.

Tabla Q - Valores límites para las longitudes de las tendencias en una serie de n números.

Tamaño de la muestra	A_2	D_3	D_4
2	1.880	0.000	3.276
3	1.023	0.000	2.575
4	0.730	0.000	2.282
5	0.580	0.000	2.115
6	0.483	0.000	2.004
7	0.420	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

Tabla 2

Tamaño de la muestra	d_2
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078

Tabla N1

r_s	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6	2														
7	2	3													
8	3	3	3												
9	3	3	3	4											
10	3	3	4	4	5										
11	3	4	4	5	5	5									
12	3	4	4	5	5	6	6								
13	3	4	5	5	5	6	6	7							
14	4	4	5	5	6	6	7	7	7						
15	4	4	5	6	6	7	7	7	8	8					
16	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9				
17	4	5	5	6	7	7	8	8	8	9	9	10			
18	4	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11		
19	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	
20	4	5	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12

Tabla para probar la aleatoriedad de la agrupación en una secuencia de alternativas (la probabilidad de un número de elementos igual o menor del que se lista es $P = 0.005$) Duncan-Control de Calidad y Estadística Industrial pag. 993 .

s = casos en un lado del promedio

r = casos en el otro lado del promedio

r se toma siempre como el menor número de casos
 s el mayor

Tabla N2

r s	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6	3														
7	4	4													
8	4	4	5												
9	4	5	5	6											
10	5	5	6	6	6										
11	5	5	6	6	7	7									
12	5	6	6	7	7	8	8								
13	5	6	6	7	8	8	9	9							
14	5	6	7	7	8	8	9	9	10						
15	6	6	7	8	8	9	9	10	10	11					
16	6	6	7	8	8	9	10	10	11	11	11				
17	6	7	7	8	9	9	10	10	11	11	12	12			
18	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	12	13	13		
19	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	13	13	14	14	
20	6	7	8	9	9	10	10	11	12	12	13	13	14	14	15

Tabla para probar la aleatoriedad de la agrupación en una secuencia de alternativas (la probabilidad de un número de elementos igual o menor del que se lista es $P=0.05$).

s = casos en un lado del promedio

r = casos en el otro lado del promedio.

r se toma siempre como el
el menor número de casos
s el mayor.

La misma fuente de la tabla n1.

Tabla P

Valores límites para longitudes de recorridos en ambos lados de la mediana en n casos (la probabilidad de obtener por lo menos un recorrido del tamaño especificado o mayor).

n	0.05	0.01	0.001
10	5	----	----
20	7	8	9
30	8	9	----
40	9	10	12
50	10	11	----

(corridos mayores que esta sugieren la existencia de influencias no aleatorias)
 misma fuente de la tabla N1 y N2.

Tabla Q

Valores límites para las longitudes de tendencias hacia arriba y hacia abajo en una serie de n números.

probabilidad igual o menor que 0.0032			probabilidad igual o menor que 0.0567		
n	corrida	probabilidad de una corrida igual o mayor que	corrida	probabilidad de una corrida igual o ma- yor que	
4	4	0.0028	4	0.0028	
5	5	0.0004	4	0.0165	
6	5	0.0028	4	0.0301	
7	6	0.0004	4	0.0435	
8	6	0.0007	4	0.0567	
9	6	0.0011	5	0.0099	
10	6	0.0014	5	0.0122	
11	6	0.0018	5	0.0146	
12	6	0.0021	5	0.0169	
13	6	0.0025	5	0.0193	
14	6	0.0028	5	0.0216	
15	6	0.0032	5	0.0239	
20	7	0.0006	5	0.0355	
40	7	0.0015	6	0.0118	
60	7	0.0023	6	0.0186	
80	7	0.0032	6	0.0254	
100	8	0.0005	6	0.0322	

* probabilidades basadas en la aproximación de distribución exacta por la exponencial de Poisson.

misma fuente de las tablas N1 y N2

Control estadístico del proceso se terminó de imprimir con 200 ejemplares en offset, en el mes de noviembre de 1997 en la Sección de Impresión y Reproducción de la UAM Azcapotzalco.
Corrección Marisela Juárez Capistrán, Diseño y cuidado editorial Salvador Guadarrama Méndez, Sección Editorial de la Coordinación de Extensión Universitaria de la UAM Azcapotzalco.